Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und
Rehabilitationsforschung der Universität Marburg
Direktor: Professor Dr. G. Hildebrandt

Untersuchungen über die Koordination des Lidschlages mit Herz- und Atemrhythmus

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
in der gesamten Medizin
des Fachbereiches Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von
Hannelore Engel, geb. Bernard
aus Schirmke/OS

Marburg/Lahn 1973

Fotodruck E. Symon · 355 Marburg/Lahn · Friedrichstr. 3

Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und
Rehabilitationsforschung der Universität Marburg
Direktor: Professor Dr. G. Hildebrandt

Untersuchungen über die Koordination des Lidschlages mit Herz- und Atemrhythmus

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
in der gesamten Medizin
des Fachbereiches Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von
Hannelore Engel, geb. Bernard
aus Schirmke/OS

Marburg/Lahn 1973

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am: 10. Juli 1973

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Dekan: Prof. Dr. med. H. Oepen
Referent: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt
Korreferent: Prof. Dr. med. F.J. Haberich

Meinen Kindern gewidmet

Inhaltsverzeichnis.

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Methodik	3
	1. Versuchspersonen	3
	2. Untersuchungsmethoden	3
	a. Lidschlag	3
	b. Atmung	7
	c. Herzschlag	7
	d. Registrierung	7
	3. Untersuchungsablauf	8
	4. Auswertung	9
	5. Statistische Methodik	11
III.	Ergebnisse	16
	1. Der Lidschlagrhythmus in Ruhe und bei Bewindung	16
	a. Frequenz	16
	b. Häufigkeitsverteilung und Variabilität der Lidschlagsperioden	16
	2. Die Phasenkoordination des Lidschlagrhythmus	17
	a. Mit dem Atemrhythmus	17
	b. Mit dem Herzrhythmus	23
	3. Tagesrhythmische Schwankungen der Lidschlagkoordination	24
	4. Korrelationen	33
IV.	Diskussion	37
	1. Zur Methodik	37
	2. Zu den Ergebnissen	41
	a. Frequenz und Variabilität des Lidschlags	41
	b. Koppelung des Lidschlags mit dem Atemrhythmus	44
	c. Koppelung des Lidschlags mit dem Herzrhythmus	47
	d. Schlußforgerungen	5o
V.	Zusammenfassung	57
VI.	Literaturverzeichnis	59

I. Einleitung.

Die ganzheitliche Betrachtungsweise der modernen biologischen Rhythmusforschung hat zu der Auffassung geführt, daß die zeitliche Struktur der Funktionen eines Organismus nicht allein von der spezifischen Funktionsleistung bestimmt wird, sondern ein eigenes Ordnungsmerkmal darstellt. Dieses ist Teilglied einer umfassenderen rhythmischen Funktionsordnung und steht mit dieser durch Koordination von Frequenz und Phase in mehr oder weniger strengem Zusammenhang (v.HOLST 1939; ASCHOFF 1959; Lit.-Übersicht s. HILDEBRANDT 1967). Von den zahlreichen rhythmischen Funktionen des Menschen, deren Periodendauer den Bereich von etwa 1/1ooo sec bis zur Größenordnung von Jahren einnehmen, ist der Lidschlagrhythmus bisher nur unzureichend unter diesen Gesichtspunkten betrachtet und analysiert worden. Dies liegt sicherlich vor allem daran, daß die Funktion des Lidschlags nicht allein spontaner Natur ist, daß vielmehr zahlreiche andere Faktoren als Auslösemechanismen oder Moderatoren der Lidschlagfolge in Betracht kommen (Lit.-Übersicht s. HABERICH 1958). Demzufolge sind auch die Frequenzangaben zu sehr von den Untersuchungsbedingungen abhängig, als daß eine hinreichende Abgrenzung von Frequenznormen und deren Verhältnis zu anderen Rhythmen des Organismus möglich gewesen wäre. Periodenverteilungsformen des Lidschlags, die für diese rhythmologischen Fragestellungen aufschlußreicher sein könnten, sind bisher nur wenig beachtet worden (PONDER u. KENNEDY 1928).
Die Phasenbeziehungen des Lidschlags zum Atemrhythmus sind erstmals von POOLE (1961) untersucht, aber nicht näher differenziert worden. Weitere Untersuchungen dieser Art, die auch die Phasenbeziehungen des Lidschlags zum Herzrhythmus einbezogen, sind an unserem Institut von STORCH (1964/65) begonnen, aber nicht abgeschlossen worden. - Diese bisher vorliegenden Befunde sind noch zu spärlich und vor allem auch so wenig übereinstimmend, als daß es mit ihnen möglich wäre, eine Einordnung des Lidschlags in das Gesamtspektrum rhythmisch geordneter Erscheinungen des Menschen zu versuchen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden daher in Fortführung der Versuche von STORCH (1964/65) mit dem Ziel unternommen, weiteres Material zur Frage der Frequenz - und Phasenbeziehungen des Lidschlagrhythmus zu gewinnen, dabei die Störfaktoren des Spontanverhaltens möglichst gering zu halten und zugleich den Einfluß einer kontrollierten Reizbelastung gesondert zu prüfen.

II. Methodik.

Bei insgesamt 2o gesunden Versuchspersonen (1o männlichen und 1o weiblichen) wurden Lidschlag, Atmung und Elektrokardiogramm während ruhiger Betrachtung eines Bildes fortlaufend über mindestens 1oo Lidschläge registriert. Die Untersuchung wurde danach bei Anblasen des Gesichtes mit einem Ventilator wiederholt. Darüber hinaus wurden 4 Versuchspersonen durch wiederholte Untersuchungen im Tagesgang kontrolliert, 2 davon in 3-stündigen, die anderen beiden in 4-stündigen Abständen, wobei allerdings in einem Falle 2 Kontrollen infolge technischer Störungen nicht gewertet werden konnten. (Insgesamt 28 Einzeluntersuchungen).

1. Versuchspersonen.

Bei den Versuchspersonen handelte es sich um Pflegepersonal eines Krankenhauses und Mitarbeiter des Instituts, die sich freiwillig zur Verfügung stellten. Das Alter lag zwischen 2o und 5o Jahren (Mittleres Alter 28,6 Jahre). Die Probanden wurden zwar über die Art der Registrierverfahren aufgeklärt, über den Zweck der Untersuchungen wurden sie aber zur Vermeidung willkürlicher Beeinflussung der Ergebnisse nicht aufgeklärt. Äußere Augenerkrankungen, insbesondere akute Reizzustände der Bindehäute lagen in keinem Falle vor. Acht Probanden trugen eine Brille, die während der Untersuchung abgesetzt wurde. Da die zugrundeliegenden Refraktionsstörungen nur gering waren, wurde dadurch die Betrachtung des Bildes nicht wesentlich beeinträchtigt.

2. Untersuchungsmethoden.

a) Lidschlag

Der Lidschlag wurde mit einer photoelektrischen Anordnung aufgezeichnet, die von STORCH (1964/65) entwickelt wurde. An einem Brillengestell sind an den oberen Rahmen zwei kleine, mit einem lichtundurchlässigen Kunststoffschlauch verkleidete Photozellen so befestigt, daß die offenen Schlauchenden auf die Pupillen gerichtet sind, ohne das zentrale

Gesichtsfeld zu stören (Abb. 1 und 2). An den Photozellen, die in Serie geschaltet sind, liegt eine Gleichspannung von 4,5 Volt. Die beim Lidschlag durch Veränderung des Lichteinfalls in die Photozellen entstehenden elektrischen Spannungsänderungen werden über eine Brückenschaltung abgeleitet und über einen Universalverstärker (Typ 1; Herst.: F. Hellige, Freiburg/Br.) dem Registriergerät zugeführt. Die Polung wurde so vorgenommen, daß beim Lidschlag ein positiver Ausschlag entstand.

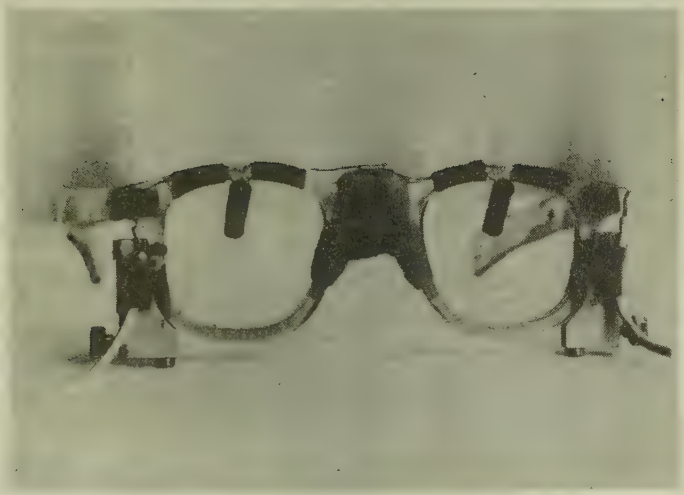

Abb. 1. Vorrichtung zur Registrierung des spontanen Lidschlags mittels zweier an einem Brillengestell befestigter Photozellen. (Näheres s. Text)

Abb. 2. Versuchsanordnung zur Abnahme des spontanen Lidschlags - entsprechend Abb. 1 - sowie der Atembewegungen mittels eines thermoelektrischen Nasenfühlers bei einer sitzenden Versuchsperson.

b) Atmung.

Zur Registrierung der Atemphasen wurde ein thermoelektrischer Nasenfühler (STORCH 1967) verwendet, der den In- und Exspirationsbeginn durch den sprunghaften Temperaturwechsel im Naseneingang erfaßt (vgl. VAN DER FALK 1950; GOLENHOFEN u. HILDEBRANDT 1958; ADOLPH u. FROMMER 1966). Der Fühler besteht aus einem leichten, dem Nasenrücken angepaßten Plexiglashalter, von dem zwei dünne gebogene Fortsätze mit je 4 hintereinandergeschalteten Kupfer-Konstantan-Thermolötstellen (Drahtdurchmesser o,1 mm) ca 1 cm frei in die Nasenhöhle hineinragen. Die 8 Vergleichslötstellen befinden sich in einem thermisch isolierten Behälter. Die Zuleitungen wurden in einem dünnen PVC-Schlauch über Nasenrücken und Stirn geführt (Abb. 2).

c) Herzschlag.

Die Herzaktionen wurden als bipolares Extremitäten-Elektrokardiogramm in der II. Standardableitung registriert. Die mit Gummigurten befestigten Silberblech-Elektroden waren zum besseren Kontakt mit angefeuchteten Stoffläppchen umwickelt. Die Erdleitung lag am rechten Unterschenkel.

d) Registrierung.

Die Registrierung aller Meßgrößen erfolgte synchron mit einem Vierkanal-Direktschreiber (Typ Helcoscriptor He 86; Herst.: F. Hellige, Freiburg/Br.). Die Papiergeschwindigkeit betrug in 6 der Einzelversuche 25 mm/sec, in den weiteren 14 Einzelversuchen 1o mm/sec, bei den Tagesgangsuntersuchungen 25 mm/sec. Das Registriergerät war in einem vom Versuchsraum schallisolierten Raum aufgestellt, um akustische Kopplungsmechanismen durch das Betriebsgeräusch auszuschalten.

3. Untersuchungsablauf.

Die Versuche fanden in einem verdunkelten geräuscharmen Raum bei behaglicher Raumtemperatur statt, 1o von ihnen vormittags zwischen 1o und 12 Uhr, die übrigen nachmittags zwischen 17 und 19 Uhr. Die Versuchsperson saß auf einem bequemen Stuhl an einem Tisch, auf dem eine Bürolampe (6o Watt) stand. Diese beleuchtete sowohl das Gesicht der Versuchsperson als auch ein 45 x 33 cm großes Bild (verkleinerte Reproduktion der "Heiligen Drei Könige" von Benozzo Gozzoli), das in Augenhöhe in 15o m Entfernung aufgehängt war. Der Blickwinkel zwischen den beiden Bildrändern betrug horizontal 17,2°, vertikal 12,6°. Die Versuchsperson war angewiesen, das Bild ohne Kopfbewegungen mit mittlerer Aufmerksamkeit zu betrachten. Zur Adaptation an die Untersuchungssituation wurde erst nach einer halben Stunde mit den Messungen begonnen.
Während des ersten Untersuchungsabschnitts wurde über mindestens 1oo Lidschläge registriert. In einem zweiten Untersuchungsabschnitt wurde das Gesicht der Versuchsperson mit einem Klein-Ventilator aus 8o cm Entfernung angeblasen, wobei nochmals über mindestens 1oo Lidschläge registriert wurde. Die Windgeschwindigkeit im Bereich des Gesichts betrug ca 3o-4o cm/sec[x]).

Bei den Tageslängsschnittversuchen wurde jeweils nur der erste Untersuchungsabschnitt in gleicher Weise 3- bzw. 4-stündlich wiederholt. Die Versuche begannen um 9.oo Uhr und dauerten bis 9.oo Uhr des folgenden Tages. Die Versuchspersonen hielten sich dazu im Institutsbereich auf und wurden aus dem Nachtschlaf (ca 22.3o bis 7.oo Uhr) zu den Untersuchungsterminen geweckt. Die Mahlzeiten wurden zu den gewohnten Tageszeiten eingenommen.

---

x) Für die Messung der Windgeschwindigkeit sind wir Herrn Dr. Ing. K. Bennedik, Kassel, zu besonderem Dank verpflichtet.

4. Auswertung.

Aus den Registrierstreifen wurden zunächst Lidschlag-, Atem- und Herzfrequenz in Abschnitten von je 1 min ausgezählt und deren Mittel über die gesamte Registrierzeit bestimmt. Darüberhinaus wurden sämtliche Lidschlag-Periodendauern einzeln ausgemessen und ihr arithmetisches Mittel berechnet.

Als Bezugspunkte für die Bestimmung der Phasenbeziehungen zwischen den 3 Meßgrößen dienten Lidschlagbeginn, Inspirationsbeginn und Beginn der R-Zacke im Elektrokardiogramm. Zur Bestimmung der Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Atmung bzw. Lidschlag und Herzaktion wurden in Anlehnung an HILDEBRANDT u. DAUMANN (1965) alle Atem- und Herzperioden, in welche ein Lidschlag fiel, in 2o Klassen von je 5 % der betreffenden Periodendauer unterteilt und die Häufigkeitsverteilung von je 1oo Lidschlagbeginnen in diesen Klassen ermittelt (vgl. Abb. 3). Zur Bestimmung der Phasenkoppelung zwischen Herzschlag und Atmung wurde in analoger Weise die Häufigkeitsverteilung aller Inspirationsbeginne über die 2o Klassen der Herzperiodendauer festgestellt (HILDEBRANDT u. DAUMANN 1965; STORCH 1967; STUTTE 1967; ENGEL u. Mitarb. 1968, 1969, 1972).

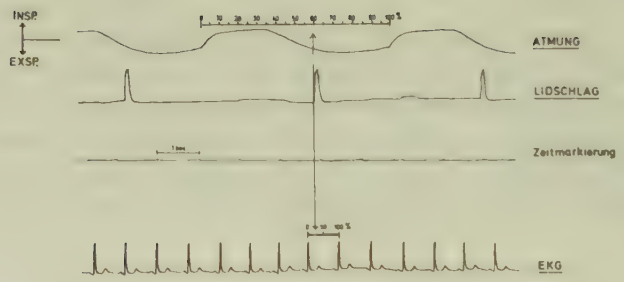

Abb. 3. Registrierbeispiel zu den Lidschlaguntersuchungen.
Papiergeschwindigkeit: 25 mm/sec.
Obere Kurve: Atemverlauf mit Unterteilung einer Atemperiode in 2o Klassen von je 5 % der Atemperiodendauer.
Mitte: Registrierung der Lidschlagfolge.
Untere Kurve: Registrierung des Extremitäten-Elektrokardiogramms in der II. Standardableitung mit Unterteilung einer Herzperiode in 2o Klassen von je 5 % der Herzperiodendauer.

5. Statistische Methodik.

Die Beurteilung der Verteilungsmuster von Lidschlag- und Inspirationsbeginnen über die 2o Klassen der Atem- bzw. Herzperiode erfolgte zunächst nach dem Vorgehen von BUCHER u. BÄTTIG (196o a,b) durch Errechnung des X^2 nach der Formel:

$$X^2 = \frac{(B - E)^2}{E} \qquad (1)$$

(E = Erwartungshäufigkeit in jeder Klasse; B = gefundene Klassenhäufigkeit). Da im Gegensatz zu den jeweils 1oo erfaßten Lidschlägen die Häufigkeit der Inspirationsbeginne unterschiedlich war, bestimmten wir aus Gründen der Vergleichbarkeit des Koppelungsgrades auch den sog. relativen Koppelungsgrad C (ENGEL u. Mitarb. 1968):

$$C = \frac{X^2}{E} = \frac{(B - E)^2}{E^2} \qquad (2)$$

Die Signifikanzschranken für den relativen Koppelungsgrad C sind in Tabelle 1 zusammengestellt (DOCUMENTA GEIGY, Wissenschaftliche Tabellen, 6. Aufl. 196o).

Tabelle 1.

Relativer Koppelungsgrad C	p	Bewertung
$\leq 6{,}05$	$> 0{,}05$	keine sichere Koppelung
$> 6{,}05$	$< 0{,}05$	schwache Koppelung
$> 7{,}25$	$< 0{,}01$	mittlere Koppelung
$> 8{,}76$	$< 0{,}001$	starke Koppelung

Mittelwerte wurden arithmetisch bestimmt. Standardabweichung (σ) und mittlerer Fehler des Mittelwertes (σ_M) wurden nach folgenden Formeln berechnet:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - M)^2}{n - 1}} \qquad (3)$$

$$\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (4)$$

(x = Einzelmessung; M = arithmetischer Mittelwert; n = Anzahl der Messungen).

Der Variabilitätskoeffizient (VC) errechnete sich gemäß:

$$VC = \frac{\sigma \cdot 100}{M} \qquad (5)$$

Die Differenz von Mittelwerten prüften wir nach dem t-Test (Student-Verteilung) auf Signifikanz (DOCUMENTA GEIGY, Wissenschaftliche Tabellen, 6. Auf. 1960), ebenso die mittleren Paarwertdifferenzen gegen Null. Korrelationen wurden als Produktmomentkorrelationen nach BRAVAIS-PEARSON (vgl. HENRYSSON u. Mitarb. 1960) berechnet:

$$\text{Korr.-Koeffizient } r_{xy} = \frac{\sum (x-Mx)\,(y-My)}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \qquad (6)$$

($x-M_x$ bzw. $y-M_y$ = Abweichung der Einzelmeßwerte vom zugehörigen Mittelwert). Die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten wurde gegen Null geprüft (DOCUMENTA GEIGY, Wissenschaftliche Tabellen, 6. Auf. 1960).

Tabelle 2.

Vp.	Ruhewerte Herzfrequenz	Atemfrequenz	Lidschlagfrequenz	Lidschlagperiodendauer	Variabilitätskoeffizient
	P/min	A/min	L/min	sec	%
Ba.	109,33	14,17	8,00	6,82	67,80
Be.	80,78	9,63	7,00	8,58	109,32
Ber.	100,19	10,38	8,08	7,46	78,02
v.E.	78,77	24,25	9,80	6,58	103,04
En.	79,17	14,94	15,00	4,02	56,72
D.E.	78,63	12,66	11,13	5,68	38,03
Em.	94,90	22,74	23,00	2,64	44,32
Fi.	78,47	16,94	8,45	7,15	94,20
Fl.	47,40	12,89	6,06	10,03	46,36
He.	81,21	18,35	34,50	1,66	69,88
Hi.	65,24	17,04	18,80	3,35	76,72
Ho.	74,78	12,13	21,50	2,84	66,90
Hö.	79,26	15,96	11,00	4,89	125,25
Il.	64,78	20,23	10,67	5,64	81,30
Ka.	82,92	13,26	5,44	11,46	82,11
Kn.	88,25	13,34	5,50	11,26	89,70
Ni.	71,00	14,78	11,50	5,46	98,35
Schl.	79,05	16,36	7,62	7,91	64,73
Schn.	65,30	17,50	8,40	6,37	70,49
Wo.	64,87	12,27	4,41	13,60	113,97
Mittelwerte	78,22	15,49	11,79	6,67	78,86
Streuung σ	± 13,72	± 3,83	± 7,47	±3,16	± 23,70

Tabelle 3.

Vp.	Ventilatorwerte Herzfrequenz	Atemfrequenz	Lidschlagfrequenz	Lidschlagperiodendauer	Variabilitätskoeffizient
	P/min	A/min	L/min	sec	%
Ba.	94,83	14,49	28,oo	2,21	51,5o
Be.	76,69	1o,72	7,42	7,64	132,2o
Ber.	98,92	13,64	6,4o	9,45	84,23
v.E.	76,o3	23,46	6,53	9,o7	124,59
En.	78,37	13,64	45,5o	1,34	58,58
D.E.	73,35	11,22	24,oo	2,53	31,54
Em.	95,49	21,85	27,oo	2,24	37,54
Fi.	76,19	17,99	8,82	7,1o	73,38
Fl.	44,78	14,25	6,93	8,46	69,74
He.	76,69	16,38	46,oo	1,15	82,87
Hi.	6o,5o	12,99	4o,oo	1,57	71,97
Ho.	7o,34	12,21	3o,5o	1,69	53,55
Hö.	73,18	16,7o	8,33	6,54	77,52
Il.	6o,87	19,68	14,oo	4,14	8o,6o
Ka.	8o,21	13,45	9,o9	6,69	1o4,o4
Kn.	86,59	15,5o	5,82	1o,4o	1o1,44
Ni.	67,42	14,35	13,oo	4,78	79,29
Schl.	75,83	17,o1	11,5o	5,26	1o4,18
Schn.	66,89	16,6o	9,6o	6,58	98,48
Wo.	64,97	12,29	5,76	1o,59	135,98
Mittelwerte	74,91	15,42	17,71	5,47	82,66
Streuung σ	± 12,86	± 3,38	± 13,78	± 3,22	± 29,o5

Tabelle 4.

Die Mittelwerte der Meßgrößen in Ruhe und bei Bewindungsreiz mit ihren Differenzen und deren p-Werten.

	Mittelwerte			t-Wert (Paarwert-differenz)	p-Wert
	Ruhe	Bewindung	Differenz		
Atemfrequenz (min^{-1})	15,49	15,42	- o,o7	o,32	<o,8o
Herzfrequenz (min^{-1})	78,22	74,91	- 3,31	6,o5	<o,oo1
Lidschlagfrequenz (min^{-1})	11,79	17,71	+ 5,92	2,94	<o,o1
Lidschlagperiodendauer (sec)	6,67	5,47	- 1,2o	1,56	<o,2o
Variabilitätskoeffizient (VC)	78,86	82,66	+ 3,8o	o,8o	<o,5o

III. Ergebnisse.

1. Der Lidschlagrhythmus in Ruhe und bei Bewindung.

a. Frequenz

In Tabelle 2 und 3 sind die gefundenen individuellen Frequenzwerte von Lidschlag, Atmung und Herzschlag in Ruhe und bei Bewindung zusammengestellt. Das Gesamtmittel der Lidschlagfrequenz beträgt in Ruhe 11,79/min, bei Bewindung des Gesichts steigt es auf 17,71/min. Wie die Untersuchung der individuellen Paarwertdifferenzen ergab (Tabelle 4), ist dieser Unterschied statistisch signifikant. Die Herzfrequenz lag bei Bewindung im Mittel um 3,31/min signifikant niedriger als ohne Bewindung, während die Atemfrequenz keine sicheren Unterschiede zeigte.

b. Häufigkeitsverteilung und Variabilität der Lidschlagperioden

Abb. 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung aller in den 2o Einzeluntersuchungen bei Ruhe und Bewindung gemessenen Periodendauern des Lidschlags. In Ruhe (Abb. 4 oben) liegt ein breites Maximum der Häufigkeit im Bereich von 1-3 sec Periodendauer, oberhalb davon nimmt die Häufigkeit in exponentieller Form ab, wobei die längsten gemessenen Abstände zwischen zwei Lidschlägen bis zu 77 sec reichten. Bei Bewindung mit Ventilator (Abb. 4 unten) tritt eine deutliche Linksverschiebung der Verteilung ein, wobei das Häufigkeitsmaximum höher und schmaler wird und nur noch den Bereich von 1-2 sec Periodendauer einnimmt. Der Häufigkeitsabfall zu den längeren Perioden hin erscheint steiler, die Extremvarianten erreichten aber auch hier Periodendauern über 7o sec.
Bei näherer Betrachtung lassen sich insbesondere in der Ruheverteilung mehrere diskrete Häufigkeitsgipfel unterscheiden, z.B. bei etwa 1, 2, 3 und 4 sec Periodendauern, während diese bei Bewindung weniger deutlich in Erscheinung treten. Lediglich der Gipfel bei 1 sec ist sehr stark ausgeprägt.

Im Einzelfall zeigten sich solche diskreten Häufigkeitsgipfel der Periodenverteilung bei 1, 2 und 3 sec in Ruhe nur bei 3 Probanden, bei Bewindung in 8 Fällen. Alle übrigen Individualverteilungen waren dagegen sehr flach und breit.
Zur näheren Charakterisierung der Periodenstreuung wurde in allen Fällen der Variabilitätskoeffizient der Lidschlagperiodendauer bestimmt. Dazu wurde festgestellt, daß keine systematischen Niveauänderungen der Periodendauer im Laufe der Beobachtungszeit vorkamen. Die gefundenen Variabilitätskoeffizienten sind in den letzten Spalten der Tabellen 2 und 3 eingetragen. Das Absinken der mittleren Lidschlagperiodendauer bei Bewindung des Gesichts ging nicht mit einer signifikanten Änderung der Periodenstreuung einher (vgl. Tabelle 4), obwohl sich sowohl in Ruhe wie bei Bewindung eine positive Korrelation zwischen mittlerer Lidschlagperiodendauer und dem Variabilitätskoeffizienten der Periodendauer fand (Abb. 5). Der Korrelationskoeffizient war allerdings bei Bewindung wesentlich höher (r = + o,69), während er in Ruhe nicht die Grenze der Signifikanz erreichte (r = + o,33). Wie die eingezeichneten Ausgleichsgeraden zeigen, verlief die Beziehung bei Bewindung steiler als in Ruhe. Insgesamt ist aber festzustellen, daß die Unregelmäßigkeit der Lidschlagfolge mit Verlangsamung des Lidschlages erheblich zunimmt.

2. Die Phasenkoordination des Lidschlagrhythmus.

a. Mit dem Atemrhythmus.

Die berechneten relativen Koppelungsgrade zwischen Lidschlagbeginn und Atemrhythmus in Ruhe und bei Bewindung sind in Abb. 6 dargestellt. Die Einzelwerte finden sich außerdem in Tabelle 5. In Ruhe zeigten 6 der 2o Probanden eine signifikante Phasenkoppelung ($p < o,o5$), davon einer einen sehr hohen Koppelungsgrad. Bei Bewindung nahm der Koppelungsgrad in 14 der 2o Fälle ab, in 6 Fällen zu, wobei insgesamt nur noch 2 Werte über der Signifikanzgrenze lagen. Die Abschwächung der Phasenkoppelung bei Bewindungsreiz ließ sich auf dem

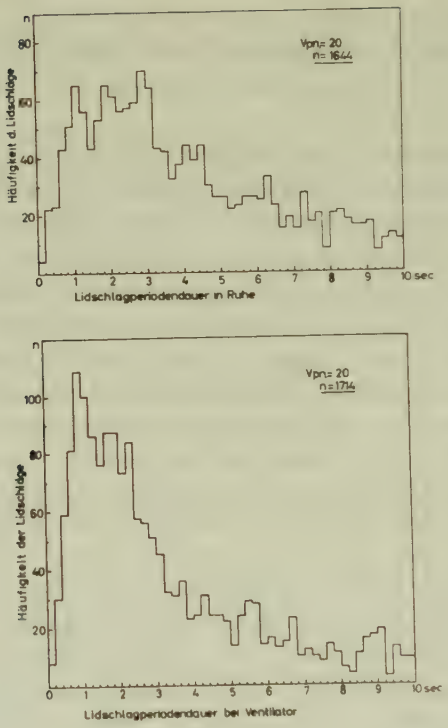

Abb. 4. Häufigkeitsverteilung der Lidschlagperiodendauern von 2o Einzeluntersuchungen in Ruhe (oben) und unter Bewindung mit Ventilator (unten).

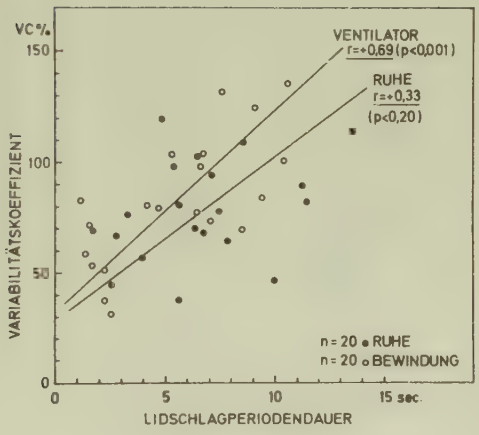

Abb. 5. Die Beziehung zwischen der mittleren Lidschlagperiodendauer und dem Variabilitätskoeffizienten der Periodendauer von je 2o Einzeluntersuchungen in Ruhe und bei Bewindung.

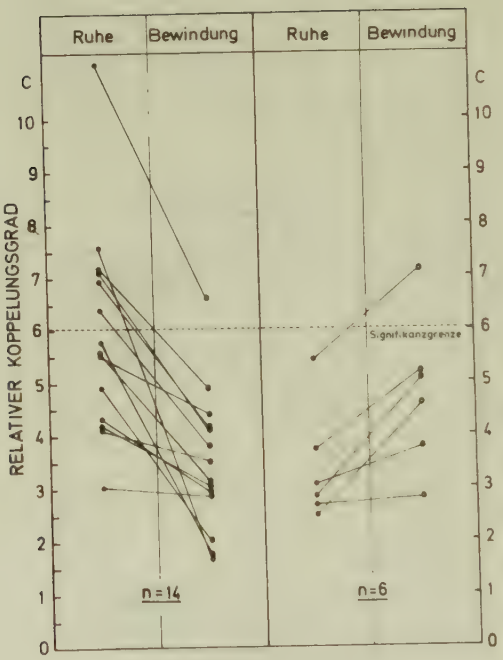

Abb. 6. Das Verhalten des relativen Koppelungsgrades zwischen Lidschlag und Atemrhythmus in Ruhe und bei Bewindung von insgesamt 2o gesunden Versuchspersonen, getrennt nach Ab- bzw. Zunahme unter Bewindung.

Tabelle 5.

Koppelungsgrad C zwischen Lidschlagrhythmus und Atemrhythmus in Ruhe und bei Bewindungsreiz.

Proband	Koppelungsgrad C in Ruhe	Koppelungsgrad C bei Bewindung
Untersuchungszeit 1o - 12 Uhr vormittags:		
D.B.	11,o4	6,56
En.	7,36	4,96
D.E.	5,52	4,4o
Em.	7,26	4,o8
Fl.	6,4o	3,76
Hi.	2,46	4,56
Ho.	4,88	2,oo
Il.	4,24	3,o4
Ka.	3,12	3,76
Wo.	4,32	2,96
	M = 5,66	M = 4,o1
Untersuchungszeit 17 - 19 Uhr nachmittags:		
Ba.	2,72	2,88
Be.	5,44	7,12
v.E.	5,76	1,68
Fi.	3,68	5,2o
He.	6,88	4,24
Hö.	4,16	3,48
Kn.	2,8o	5,12
Ni.	3,o4	2,88
Schl.	5,52	3,12
Schn.	7,52	1,6o
	M = 4,75	M = 3,73
Gesamtmittel	5,2o	3,87
Differenz	- 1,34	
t-Wert (Paarwertdifferenz)	2,56	
p-Wert	< o,o2	

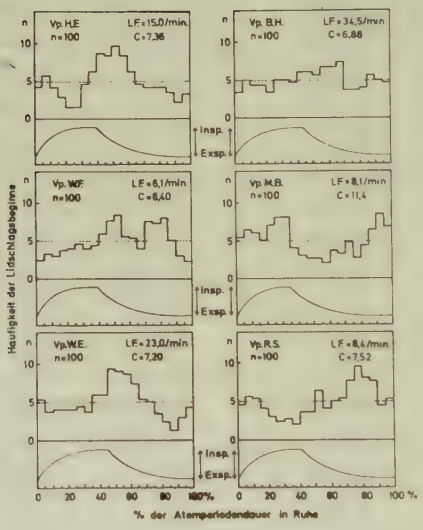

Abb. 7 Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne im Atemzyklus nach einmaliger übergreifender Dreier-Mittelung in Ruhe bei 6 gesunden Versuchspersonen mit halbschematischer Darstellung der mittleren individuellen Atemkurve.

5 % - Niveau statistisch sichern, bei Berechnung der mittleren Paarwertdifferenz wurde das 2 %-Niveau erreicht. Eine Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Atemrhythmus ist demnach unter Ruhebedingungen nur in etwa 3o % der Fälle in signifikanter Ausprägung vorhanden. Unter einem Bewindungsreiz wird die Phasenkoppelung in der Mehrzahl der Fälle abgeschwächt.
Zur Beurteilung der bevorzugten Phasenbeziehungen zwischen den beiden rhythmischen Aktionen sind für die Fälle mit signifikanten Koppelungsgraden in Ruhe die Häufigkeitsverteilungen der Lidschlagbeginne über den 2o Klassen der Atemperiode in Abb. 7 dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden hier die Häufigkeitskurven durch übergreifende Dreiermittelung einmal geglättet. Der mittlere Zeitpunkt des individuellen Exspirationsbeginns ist jeweils aus dem eingezeichneten mittleren Ablauf der Atemperiode abzulesen. In 5 der 6 Fälle liegt die Lidschlaghäufigkeit im Bereich der Inspiration niedrig und sinkt noch z.T. deutlich unter die Erwartungshäufigkeit (5,o) ab. Die Häufigkeitsmaxima liegen dagegen in verschiedenen Abschnitten der Exspirationsphase. Nur in einem Falle (Vp.M.B.) fällt das Maximum bereits in die Inspiration, wobei sich aber ein weiterer Gipfel am Ende der Exspirationsphase aufbaut.

In Abb. 8 sind die Häufigkeitsverteilungen des Lidschlagbeginns von allen 2o Probanden in Ruhe und bei Bewindungsreiz zusammengefaßt. Infolge der individuell unterschiedlichen Lagen der Häufigkeitsgipfel kommt es hierbei zu einer weitgehend gleichmäßigen Verteilung sowohl in Ruhe als auch bei Bewindung.

b. Mit dem Herzrhythmus.

Bei Berechnung der relativen Koppelungsgrade zwischen Lidschlagbeginn und Herzrhythmus fand sich, wie Abb. 9 und Tabelle 6 zeigen, in Ruhe und bei Bewindung jeweils nur in einem Falle ein signifikanter Wert. Die Verände-

rungen der Koppelung bei Bewindung waren uneinheitlich, in 9 Fällen fiel der Koppelungsgrad ab, in 11 Fällen stieg er an, eine signifikante mittlere Differenz war nicht festzustellen.
Die Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne über die Herzperiode für die beiden Fälle mit signifikanter Phasenkoppelung findet sich in Abb. 1o, wozu die Häufigkeiten wiederum einmal durch übergreifende Dreiermittelung geglättet wurden. Die Verteilung stimmt in beiden Fällen bemerkenswert überein, die Häufigkeitsminima liegen am Ende der elektrischen Systole bzw. Beginn der Diastole, während das Maximum breit vom Diastolenende bis in die Systole reicht.
Bei Summation der Lidschlaghäufigkeiten aller 2o Probanden in Abb. 11 lassen sich weder in Ruhe noch bei Bewindung größere Häufungen nachweisen.
Im Gegensatz zum Atemrhythmus scheint daher eine Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Herzrhythmus sehr selten zu sein. Ist sie vorhanden, so ist das Ansprechen auf einen zusätzlichen Bewindungsreiz zudem uneinheitlich.

3. Tagesrhythmische Schwankungen der Lidschlagkoordination.

Die Ergebnisse der Tagesgangsuntersuchungen sind in Abb. 12 zusammengestellt. Dazu wurden sämtliche Einzelmeßwerte in Prozent des individuellen Tagesmittels umgerechnet und in Zeitklassen von je 4 Stunden gemittelt. Die mittleren Tagesgänge sind zur besseren Übersicht zweimal hintereinander aufgetragen, und zwar in der Zeitordnung des sog. Biologischen Tages (HILDEBRANDT 1962) mit den Wendestunden 3 und 15 Uhr.
Der Koppelungsgrad Lidschlag/Atmung zeigt eine deutliche tagesrhythmische Schwankung mit einem Minimum um 15 Uhr und dem Maximum um 3 Uhr. Die Differenz zwischen Maximum und Minimum läßt sich zwar nicht befriedigend statistisch sichern, zu anderen Zeitpunkten des Tages ist der Streuungsbereich aber so klein, daß der Kurvengang nicht

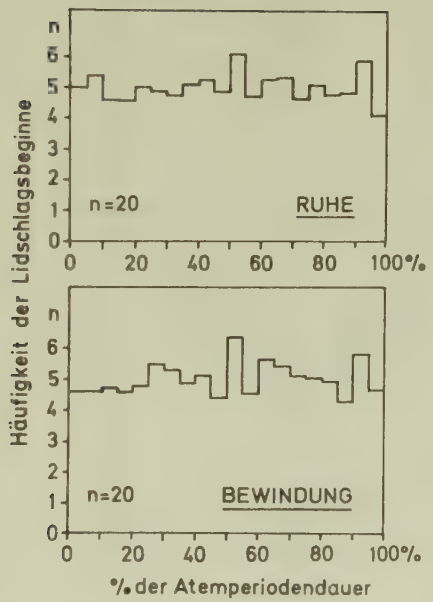

Abb. 8. Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne im Atemzyklus von insgesamt 2o Versuchspersonen in Ruhe (oben) und bei Bewindung (unten).

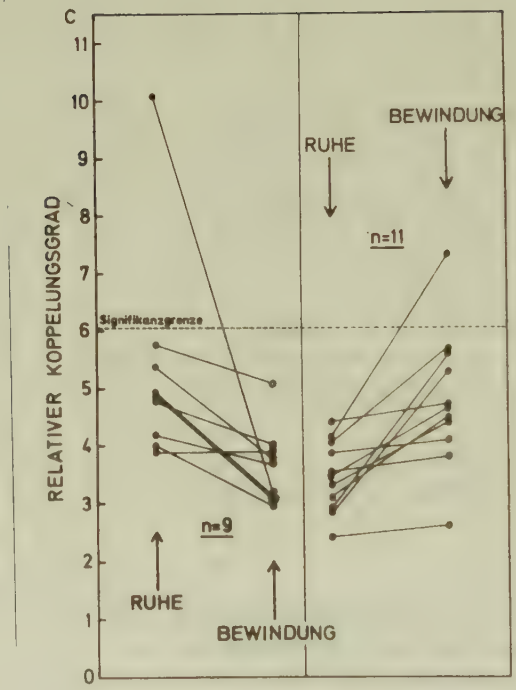

Abb. 9. Das Verhalten des relativen Koppelungsgrades zwischen Lidschlagbeginn und Herzrhythmus in Ruhe und bei Bewindung von insgesamt 2o gesunden Versuchspersonen getrennt nach Ab- bzw. Zunahme unter Bewindung.

Tabelle 6.

Koppelungsgrade C zwischen Lidschlagrhythmus und Herzrhythmus in Ruhe und bei Bewindungsreiz.

Proband	Koppelungsgrad C in Ruhe	Koppelungsgrad C bei Bewindung
Untersuchungszeit 1o - 12 Uhr vormittags:		
D.B.	2,96	5,6o
En.	1o,o8	3,2o
D.E.	3,84	3,84
Em.	3,52	4,64
Fl.	2,4o	2,64
Hi.	4,96	3,12
Ho.	4,o8	5,68
Il.	4,24	7,28
Ka.	5,36	5,16
Wo.	4,24	3,68
	M = 4,57	M = 4,48
Untersuchungszeit 17 - 19 Uhr nachmittags:		
Ba.	5,68	5,o4
Be.	3,84	4,o8
v.E.	4,48	4,72
Fi.	3,52	3,76
He.	4,oo	2,96
Hö.	4,8o	4,oo
Kn.	3,12	4,48
Ni.	4,8o	3,16
Schl.	3,28	4,48
Schn.	2,88	5,36
	M = 4,o4	M = 4,2o
Gesamtmittel	4,3o	4,34
Differenz	+ o,8o	
t-Wert (Paarwert-differenz)	1,68	
p-Wert	< o,1o	

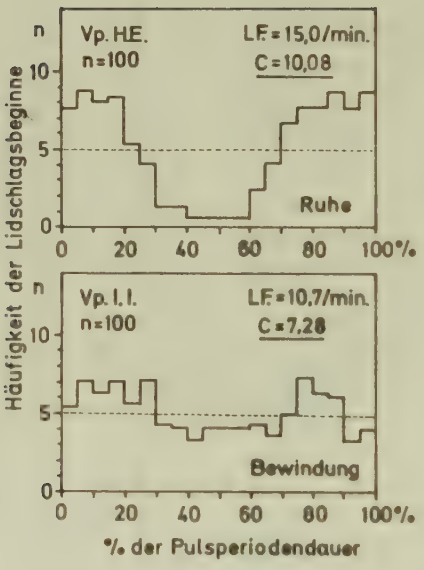

Abb. 1o. Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne im Herzrhythmus nach einmaliger übergreifender Dreiermittelung bei signifikanter Phasenkoppelung eines Probanden in Ruhe (oben) und einer Versuchsperson bei Bewindung (unten).

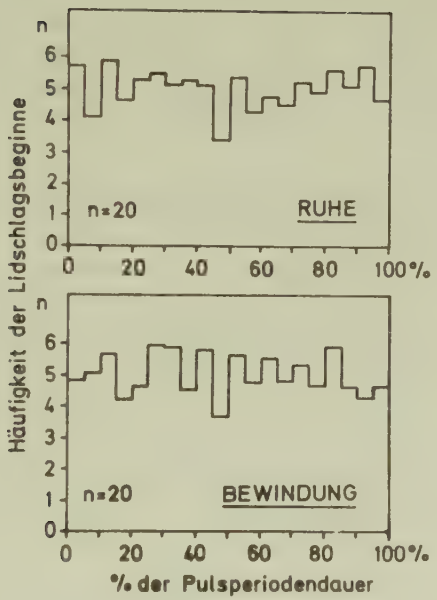

Abb. 11. Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne über die Herzperiode von insgesamt 2o gesunden Versuchspersonen in Ruhe (oben) und unter Bewindung (unten).

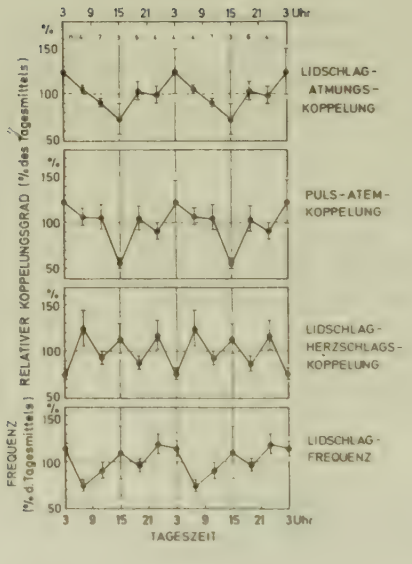

Abb. 12. Der mittlere Tagesgang der Lidschlag-Atmungs-Koppelung, der Puls-Atem-Koppelung, der Lidschlag-Herzschlag-Koppelung sowie der Lidschlagfrequenz von 4 gesunden Versuchspersonen bei 4-stündigen Meßintervallen. Werte in Prozent des individuellen Tagesmittels. Zur besseren Übersicht sind die Tagesverläufe zweimal hintereinander aufgetragen.

zweifelhaft ist.
Zum Vergleich wurde auch der Koppelungsgrad Puls/Atmung ausgewertet, dessen tagesrhythmisches Verhalten bereits bekannt ist (ENGEL u. Mitarb. 1969). Die hier von nur 4 Versuchspersonen erhaltene Mittelwertkurve entspricht mit ihrem Maximum um 3 Uhr und dem Minimum um 15 Uhr gut den früheren Erfahrungen und stimmt außerdem mit dem Tagesgang der Koppelung zwischen Lidschlag und Atmung überein. Die Differenz zwischen Minimum und Maximum ist hier trotz der geringen Häufigkeiten statistisch zu sichern.

Demgegenüber findet sich für den Koppelungsgrad zwischen Lidschlag und Herzrhythmus kein deutlicher tagesrhythmischer Gang. Die Mittelwertkurve zeigt regelmäßige schnellere Schwankungen, aus denen nur ein Minimum um 3 Uhr signifikant herausfällt. Dieses liegt demnach zu dem Zeitpunkt, wo die beiden anderen Koppelungen ihr tagesrhythmisches Maximum erreichen.

Da bisher Erfahrungen über den Tagesgang der Lidschlagfrequenz fehlen, wurde dieser in Abb. 12 gleichfalls als Mittelwertkurve dargestellt. Die Lidschlagfrequenz steigt von morgens um 7 Uhr im Laufe des Tages fortlaufend an und erreicht in den frühen Nachtstunden ein breiteres Maximum, das statistisch signifikant ist. Nach 3 Uhr fällt die Lidschlagfrequenz wieder steil zum Minimum ab.
Bei den insgesamt 28 Kontrollen im Tagesgang wurde 6 mal ein statistisch signifikanter Koppelungsgrad zwischen Lidschlag und Atmung erreicht, davon 4 mal bei ein und derselben Versuchsperson. Die geglätteten Häufigkeitsverteilungen der je 100 Lidschlagbeginne über die Atemperiode sind in Abb. 13 zusammengestellt. Im Vergleich zu den Verteilungen der Abb. 7 ist das Gesamtbild noch vielgestaltiger. Es bestehen meist 2 oder 3 Koinzidenzgipfel in wechselnden Positionen, wobei die Häufungen im exspiratorischen Bereich keineswegs überwiegen.

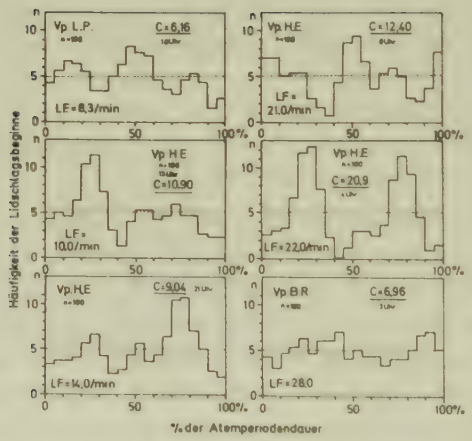

Abb. 13. Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne über der Atemperiode - nach einmaliger übergreifender Dreiermittelung - von 6 Messungen der Tagesgangsuntersuchungen mit signifikanten Koppelungsgraden von 3 der insgesamt 4 Versuchspersonen.

Der Koppelungsgrad zwischen Lidschlag und Herzrhythmus überschritt bei den 28 Kontrollen dreimal die Grenze der Signifikanz, davon zweimal bei derselben Versuchsperson. Die Häufigkeitsverteilungen der Lidschlagbeginne über die Herzperiode sind für diese Fälle in Abb. 14. dargestellt. Hier erscheinen die Verteilungsformen gleichmäßiger und zeigen auch eine prinzipielle Übereinstimmung mit den beiden in Abb. 1o dargestellten Fällen. Überall findet sich ein endsystolisches bzw. frühdiastolisches Minimum, während ein breites Maximum im Bereich des R-Zackenbeginns gipfelt.

Abb. 15. zeigt schließlich die mittlere Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne über die Atemperiode von allen 4 im Tagesgang untersuchten Versuchspersonen zum Zeitpunkt des tagesrhythmischen Maximums der Phasenkoppelung um 3 Uhr und des Minimums um 15 Uhr. Der Verteilungstyp der Lidschlagbeginne ist in beiden Summenverteilungen gleich, der Unterschied zwischen Koppelungsmaximum und -minimum betrifft hier lediglich die Amplitudenverhältnisse.

4. Korrelationen.

Das im Tagesgang gefundene gleichsinnige Verhalten der Koppelungsgrade Lidschlag-Atmung und Puls-Atmung wirft die Frage auf, ob diese Beziehung auch interindividuell nachweisbar ist. Bei unseren 2o Versuchspersonen ließ sich in den Untersuchungsabschnitten ohne Bewindungsreiz keine sichere Korrelation zwischen den relativen Koppelungsgraden nachweisen. Der Korrelationskoeffizient betrug $r = -0{,}032$. Nach Eliminierung von zwei Extremvarianten mit völlig aus dem Rahmen fallenden hohen Werten der Puls-Atem-Koppelung (vgl. Tabelle) ergab sich allerdings für die übrigen 18 Probanden ein positiver Korrelationskoeffizient von $r = +0{,}36$ ($< 0{,}15$), der die aus den Tagesgangsuntersuchungen zu erwartende Beziehung qualitativ anzeigte, bei dem kleinen Kollektiv aber auch nicht befriedigend statistisch zu sichern war.

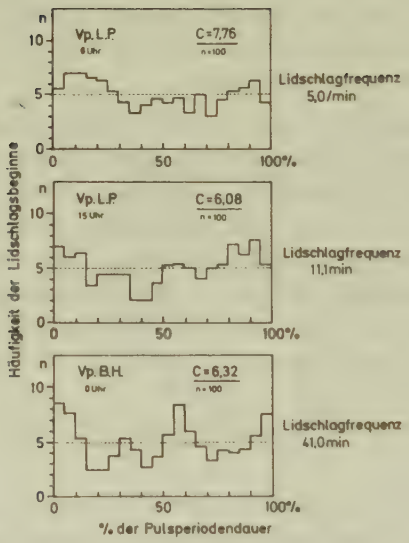

Abb. 14. Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne im Herzrhythmus - nach einmaliger übergreifender Dreiermittelung - von 3 Meßterminen der Tagesgangsuntersuchungen mit signifikanter Phasenkoppelung bei 2 der insgesamt 4 Versuchspersonen.

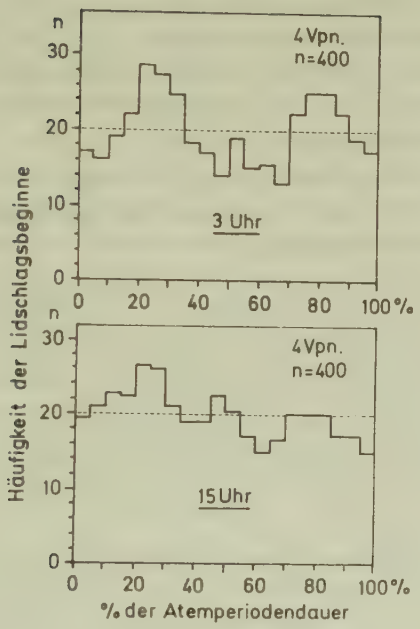

Abb. 15. Summen-Häufigkeitsverteilung der Lidschlagbeginne über der Atemperiode von den insgesamt 4 Versuchspersonen der Tageslängsschnittuntersuchung zum Zeitpunkt von 3 und 15 Uhr.

Da im Tagesgang das Maximum der Lidschlag-Atmungs-Koppelung mit einem Minimum der Lidschlag-Herzschlag-Koppelung zusammenfiel, prüften wir die Beziehung zwischen diesen beiden Koppelungsgraden gleichfalls an unseren 2o Versuchspersonen unter Ruhebedingungen. Der Korrelations-Koeffizient war erwartungsgemäß negativ, er betrug für alle 2o Fälle $r = -o,13$ ($p < o,6o$), bei Ausschluß einer Extremvarianten wurde er mit $r = -o,61$ ($p < o,o1$) statistisch signifikant. Demnach ist mit hinreichender Sicherheit anzunehmen, daß die Koppelung des Lidschlags mit dem Herzrhythmus mit derjenigen zum Atemrhythmus in Konkurrenz steht.

Die Koppelungsgrade Lidschlag-Herzrhythmus und Herzschlag-Atmung zeigten dagegen in dieser Gruppe keine nachweisbaren Beziehungen zueinander.

Schließlich prüften wir den Einfluß der Lidschlagfrequenz auf die Koppelung des Lidschlags mit Atmung und Herzrhythmus und fanden für beide Beziehungen einen schwachen positiven Korrelationskoeffizienten ($r = +o,22$ ($p = o,3o$) bzw. $r = +o,o74$). In den Punktwolken der beiden Korrelationstafeln lagen die niedrigsten Koppelungsgrade bei den niedrigsten Lidschlagfrequenzen.
Bei Prüfung der Häufigkeitsverteilungen der Lidschlagbeginne über Atem- und Herzperiode ließen sich keine einheitlichen Beziehungen zur Lidschlagfrequenz erkennen. Die Frequenzwerte sind in den entsprechenden Darstellungen der Abb. 7, 1o, 13 und 14 mit eingetragen.

IV. Diskussion.

1. Zur Methodik.

Dem jeweiligen Untersuchungsziel entsprechend, wurden bislang sehr unterschiedliche Methoden der Lidschlagregistrierung entwickelt und angewandt. Die observative Methode, bei welcher der Versuchsleiter die Lidschläge selbst registriert, eignet sich bestenfalls zu Frequenzbestimmungen (FICK u. GÜRBER 189o; POLLER 1928; PETERSON u. ALLISON 1931; ROSSANO 1933; KÖDDING 194o; HALL 1945; HABERICH u. WITTKE 1956; BARTSCH 1964), zumal Lidschläge, die mit denen des Untersuchers zusammenfallen, u.U. unberücksichtigt bleiben (vgl. auch LAWSON 1948). Optisch-photographische Methoden, durch welche z.B. mittels photographischer Registrierung (GARTEN 1898; DODGE 1913; GORDON 1951) und mittels Filmaufnahmen (WEISS 1911; GILSE 1922; HABERICH u. FISCHER 1958) auch der genauere zeitliche Ablauf der Lidschlagbewegung analysiert werden kann, kamen für unsere Langzeitversuche wegen des hohen Aufwandes nicht in Betracht. Mechanische Verfahren zur Aufzeichnung des Lidschlags, wie sie zunächst von EXNER (1874) in einfachster Form verwendet und später von MAYHEW (1897), ZWAARDEMAKER u. LANS (1899), PATRIZI u. BELLENTANI (19o4), POLLER (1928), PONDER u. KENNEDY (1928) sowie von TELFORD und O'DONNEL-ANDERSON (1932) weiterentwickelt wurden, schieden wir gleichfalls aus, da das Augenlid durch den mechanischen Fühler stets mehr oder weniger im Spontanverhalten gestört werden dürfte. Auch die von KENNARD u. SMITH (1963) angegebene mechano-elektrische Methode vermeidet diesen Nachteil nicht. In den letzten Jahren hat sich für klinisch-diagnostische Untersuchungen insbesondere die elektromyographische Registrierung eingebürgert (MACKENSEN u. HARDER 1954; MACKENSEN 1957; BENDER u. Mitarb. 1969), wobei zur sicheren Differenzierung zwischen Blickbewegungen und Lidbewegungen allerdings eine simultane Aufzeichnung von verschiedenen Ableitungen erforderlich

ist (MACKENSEN 1957).
Die von uns verwendete photoelektrische Methode zur Lidschlagmessung erfaßt zwar zeitlich exakt den Lidschlagbeginn, läßt aber keine sichere Differenzierung zwischen vollständigen und sog. abortiven Lidschlägen zu (FICK u. GÜRBER 189o; WEISS 1911; POLLER 1928). Die registrierten Amplituden zeigten zwar Unterschiede, die von der Ausprägung des Lidschlages abhängig waren, sie waren aber im Einzelfall so stark von der Einstellung der Photozellen abhängig, daß sich ein weiterer Differenzierungsversuch verbot. Da auch die abortiven Lidschläge zu den spontanen gezählt werden müssen, haben wir sämtliche Lidschlagbeginne ohne Rücksicht auf die Amplitude ausgewertet. Bei den besonders beim Bewindungsreiz gelegentlich auftretenden Doppellidschlägen, die bei stärkeren Reizungen in Lidkrämpfe übergehen können (POLLER 1928), haben wir beide Anteile mitbewertet.

Um eine für die Koppelungsmessungen besonders wichtige Spontaneität des Lidschlags zu gewährleisten, haben wir einerseits durch Wahl einer photoelektrischen Methode jede Berührung der Augenregion vermieden und andererseits die Versuchsperson über das Ziel der Untersuchung im Unklaren gelassen. Insbesondere wurde das Wort "Lidschlag" niemals erwähnt. Überdies wurde durch die Wahl von Größe und Abstand des zu betrachtenden Bildes und Vermeidung von Kopfbewegungen die Auslösung optokinetischer Lidschläge (FICK u. GÜRBER 189o; HALL 1945; HABERICH u. FISCHER 1958) vermieden. Nach Untersuchungen von HAATI u. WUORINEN (1919), POLLER (1928) u.a. ist die Lidschlagzahl bei gesenkten Augen niedriger als beim Blick nach oben, weshalb wir für unsere Messungen eine mittlere, horizontale Blickrichtung wählten.

Da sich die Lidschlagzahl nach Hell- und Dunkeladaptation praktisch immer wieder auf einen gleichen Wert einstellt (HAATI u. WUORINEN 1919; POLLER 1928; PONDER u. KENNEDY 1928; NEWHALL 1932), spielte der Faktor Helligkeit bei unserer Versuchsanordnung mit einer Adaptations-

zeit von mindestens 3o min keine störende Rolle, zumal keine extreme Beleuchtungsstärke gewählt wurde, die sonst die Lidschlagfrequenz steigern könnte (HAATI u. WUORINEN 1919; POLLER 1928).
Die Ergebnisse der Literatur über die Abhängigkeit des Lidschlags von der Umgebungstemperatur sind uneinheitlich (ZWAARDEMAKER u. LANS 1899; HAATI u. WUORINEN 1919; POLLER 1928). Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit kann, wenn nicht extrem niedrige Feuchtegrade herrschen, vernachlässigt werden (HAATI u. WUORINEN 1919; POLLER 1928; PONDER u. KENNEDY 1928). Die von uns gewählten behaglichen Raumbedingungen vermieden störende Extreme.

Besondere Beachtung verdiente die Möglichkeit einer akustischen Auslösung von Lidschlägen. Der Reflexus cochleopalpebralis (Ohr-Lidschlag-Reflex) findet sich bei allen normal hörenden Menschen (BECHTEREW 19o1; GALANT 1919) und wurde auch bei Tieren nachgewiesen (HABERICH u. WITTKE 1956; BARTSCH 1964). Um unsere Probanden nicht durch Tragen von Schallschützern zu belästigen, stellten wir das Registriergerät in einem getrennten Raum auf und sorgten für größtmögliche Ruhe im Versuchsraum. Erhöhte Aufmerksamkeit führt zu Hemmung des Lidschlags (HAATI u. WUORINEN 1919; POLLER 1928). Es war daher besonders wichtig, die Versuchspersonen bei der Bildbetrachtung nur zu einer mittleren Aufmerksamkeit zu veranlassen, was auch durch den Hinweis auf die längere Untersuchungsdauer unterstützt wurde.
Der von uns in einem zweiten Versuchsabschnitt gesetzte Bewindungsreiz wurde in der Absicht verwendet, das spontane Lidschlagverhalten mit reaktiv beeinflußten Lidschlägen zu vergleichen. Nach Beobachtungen von SILEX (1888), FRANK (1889), GARTEN (1898), ZWAARDEMAKER u. LANS (1899), HAATI u. WUORINEN (1919) sowie POLLER (1928) kommt es bei Anblasen zu reflektorisch ausgelösten Lidschlägen. Die genannten Autoren haben aber keine Messungen der effektiven Windgeschwindigkeit durchgeführt. Die von uns im Gesichtsbereich erzielten Windgeschwin-

digkeiten von 3o - 4o cm/sec liegen verhältnismäßig niedrig, so daß nur ein schwacher Reiz gesetzt wurde. Immerhin wurde die Abkühlung des Gesichts von den Probanden deutlich empfunden. Der signifikante Abfall der Pulsfrequenz in unserer Probandengruppe während der Bewindung weist auf die Wirksamkeit der Gesichtskühlung durch die Bewindung hin (HILLE 1963; HILLE u. Mitarb. 1967).

2. Zu den Ergebnissen.

a. Frequenz und Variabilität des Lidschlags.

Bestimmt man aus den in Tabelle 7 zusammengestellten Frequenzwerten der Literatur ohne Rücksicht auf die Verteilungsformen den arithmetischen Mittelwert (11,2/min), so stimmt dieser mit der von uns im Mittel der 2o Probanden gefundenen Lidschlagfrequenz von 11,8/min recht gut überein. Die Übersicht der Tabelle 7 zeigt aber zugleich, daß die interindividuelle Variabilität außerordentlich groß ist. Dies hat nur z.T. methodische Gründe. Nach Auffassung von HABERICH (1958) gibt es einen Normalwert für die spontane Lidschlagfrequenz im üblichen Sinne überhaupt nicht, weil zu viele Faktoren Einfluß haben, z.B. Aufmerksamkeit, Erregungszustand, Temperament, Konstitutionstyp, Verdauungstätigkeit, motorische Aktivität.
Die weitere Frage, ob das Fehlen einer statistischen Frequenznorm zugleich bedeutet, daß der Lidschlag keine rhythmische Funktion ist und "völlig zufällig" auftritt (HABERICH 1958), kann nur anhand der individuellen Periodenverteilungen entschieden werden. Zunächst entspricht die von uns gefundene Periodenvariabilität von durchschnittlich 78,9 % gut den Werten, die sich aus den Daten von PONDER u. KENNEDY (1928) von 42 Versuchspersonen errechnen lassen (Mittelwert der Variabilitätskoeffizienten 76,9). PONDER u. KENNEDY haben bereits gezeigt, daß die individuellen Periodenverteilungen der Lidschlagfolge verschiedene Form haben können. Sie beobachteten am häufigsten eingipfelige Verteilungen mit Häufigkeitsmaxima bei o,5 und 2,o sec, am zweithäufigsten solche, die von ihnen als "irregulärer Plateau-Typ" beschrieben wurde, im wesentlichen aber durch mehrere Häufigkeitsgipfel bei 3, 5, 7 und 9 sec Periodendauer bei sonst breiter Streuung gekennzeichnet sind. Abgesehen von sehr seltenen symmetrischen Verteilungsformen fanden sie weiterhin einen zweigipfeligen Verteilungstyp, der ziemlich übereinstimmend

im Bereich von o,5 - 1,o und 4 - 6 sec Häufungen der Periodendauer aufwies. Auch in unserem Material fanden wir Anhalte dafür, daß mehrere Periodendauern, besonders im Bereich von 1, 2, 3 und 4 sec bevorzugt auftreten können, und zwar sowohl in den individuellen Verteilungen wie in der Summationsverteilung der ganzen Gruppe.

Bereits PONDER u. KENNEDY (1928) haben aus ihren Beobachtungen den Schluß gezogen, daß der spontane Lidschlag nicht reflektorischer Natur ist, sondern durch einen mehr oder weniger regelmäßigen periodischen Prozeß im Zentralnervensystem hervorgerufen wird. Wir glauben, aus diesen Verteilungscharakteristiken gleichfalls Hinweise auf einen rhythmischen Charakter der Lidschlagfolge entnehmen zu können: Die Frequenz des Lidschlagrhythmus liegt beim Menschen in einem Bereich, in dem sich mit Atmung, Blutdruckrhythmus und sog. Minutenrhythmus der glatten Muskulatur auch sonst rhythmische Vorgänge abspielen, die zu inhomogenen Periodenverteilungen mit Bevorzugung ganzzahliger Frequenzsprünge im Sinne von Bandenspektren neigen (WEITZ u. VOLLERS 1926; HILDEBRANDT 196o, 1961; GOLENHOFEN 1966; u.a.). Zweifellos ist aber die Ausprägung solcher Bandenspektren bei den genannten anderen rhythmischen Funktionen im allgemeinen deutlicher als beim Lidschlagrhythmus. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, daß so viele andere Faktoren den Spontanrhythmus überdecken, stören oder modifizieren können. In diesem Sinne sprechen auch unsere Erfahrungen über die Wirkung eines zusätzlichen Bewindungsreizes, der zu einer signifikanten Änderung der mittleren Lidschlagfrequenz bei gleichzeitig erheblicher Änderung der Periodenverteilungsform mit mehr oder weniger starkem Abbau der Bandencharakteristik führte.

Gegen die Annahme eines rein statistischen Lidschlagverhaltens spricht schließlich auch unser Befund, daß die relative Periodenvariabilität mit Zunahme der mittleren Periodendauer gesichert zunimmt (vgl. Abb. 5).

Dieser Befund ist auch in den Daten von PONDER u. KENNEDY

Tabelle 7.

Die Lidschlagfrequenz des Menschen nach Angaben der Literatur.

Lidschlagfrequenz (min^{-1})	Methode	Autoren
2,6 - 4,8	observativ, bei mildem Tages-	FICK u. GÜRBER (1890)
6,o - 1o,o	bei Lampenlicht	
1,o - 2,o		MORAX (19o5)
5,o - 4o,o	observativ-graphisch	HAATI u. WUORINEN (1919)
5,o - 6,o		LAPERSONNE u. CANTONNET (1923)
ca 2o,o	mechanisch	PONDER u. KENNEDY (1928)
ca 1o,o	mechanisch	TELFORD u. O'DONNEL-ANDERSON (1932)
ca 1o,o	observativ-graphisch	ROSSANO (1933)
5,o - 27,o		TRENDELENBURG (1961)
5,o - 27,o		LANDOIS-ROSEMANN (1962)

($\underline{\underline{11,2}}$ = arithmetischer Mittelwert)

(1928) angedeutet vorhanden, wobei auch die Verteilungstypen Beziehungen zur mittleren Periodendauer haben. Ein solches Verhalten ließe sich am besten dadurch erklären, daß ein spontan-rhythmischer Prozeß gleichzeitig verschiedene Frequenzbanden bevorzugt, wie es auch sonst für Rhythmen dieses Frequenzbereiches charakteristisch ist.
Diese Merkmale eines rhythmischen Charakters der Lidschlagfolge können allerdings nicht ohne weiteres als Beleg für eine eigenständige Lidschlagrhythmik aufgefaßt werden, vielmehr kann diese Rhythmik auch durch Einflüsse von anderen rhythmischen Funktionen hervorgerufen werden.

b. Koppelung mit dem Atemrhythmus.

POOLE (1961) hat erstmals die Beziehungen des Lidschlags zum Atemrhythmus untersucht und bei 2.720 "spontanen" Lidschlägen von insgesamt 8 gesunden Probanden signifikante Häufungen in bestimmten Phasen des Atemzyklus gefunden, wobei das dominierende Maximum kurz nach Exspirationsbeginn lag. Bei 7 neuro-psychiatrischen Patienten, die eine höhere Lidschlagfrequenz hatten, war diese bevorzugte Beziehung zum Atemrhythmus schwächer ausgebildet. Angaben über den individuellen Koppelungsgrad wurden nicht mitgeteilt. STORCH (1964/65), dessen Untersuchungen wir unter gleichen Versuchsbedingungen fortsetzten, fand bei einer von 5 gesunden Versuchspersonen eine signifikante Phasenkoppelung, die sich bei zusätzlicher Ventilation des Gesichts verringert. Bei den übrigen Probanden führte die zusätzliche Reizbelastung in einem Fall zur Zunahme des Koppelungsgrades, während bei 2 Probanden keine Veränderung eintrat. Bei Zusammenfassung der Häufigkeitsverteilungen der Lidschläge über die Atemperiode von allen 5 Versuchspersonen zeigte sich ein Häufigkeitsabfall zu Inspirationsbeginn und ein steiler Anstieg auf dem Höhepunkt der Inspiration mit nachfolgender Ausbildung eines erhöhten Häufigkeitsniveaus während der Exspiration. Unter der Reizbelastung bildeten sich

zwei Koinzidenzgipfel aus, von denen der eine zu Beginn der Inspiration und ein breiterer in der Exspirationsphase lag.
Unsere an einer größeren Personengruppe gewonnenen Ergebnisse stimmen insofern mit diesen Vorerfahrungen überein, als nur in einem Teil der Fälle (3o %) eine signifikante Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Atemrhythmus nachweisbar ist. Auch die von uns gefundenen Verteilungsmuster der Lidschläge über die Atemperiode finden in den genannten Befunden mit der Bevorzugung der Exspirationsphase trotz einer gewissen Variabilität ihre Entsprechung.

Daß der Koppelungsgrad nur in einem Teil der Fälle den Anspruch statistischer Signifikanz erfüllt, bedeutet nicht, daß in den übrigen Fällen keine vom Atemrhythmus gekoppelten Lidschläge vorkommen. Vielmehr weist der statistisch gesicherte Befund, daß auch in der Gesamtgruppe der mittlere Koppelungsgrad nach zusätzlicher Reizbelastung durch Anblasen des Gesichts zurückgeht, darauf hin, daß die Überlagerung des Verteilungsmusters mit zusätzlichen reflektorisch ausgelösten Lidschlägen den atmungsgekoppelten Anteil auch in denjenigen Fällen zurückdrängt, bei denen der Koppelungsgrad in Ruhe nicht signifikant ist.
Daß der Atemrhythmus in vielfältiger Weise andere Funktionen rhythmisch beeinflußt, ist hinreichend bekannt. Abgesehen von den rein mechanischen Wirkungen der peripheren Atembewegungen ist heute erwiesen, daß der zentrale Atemrhythmus auch nach Ausschaltung der peripheren Atmung in der Lage ist, durch Irradiation in erregendem oder hemmendem Sinne auf andere zentral-nervöse Vorgänge einzuwirken (PEIPER 1938; PENAZ 1957 a und b, 1958; KOEPCHEN u. THURAU 1957/58, 1958; GOLENHOFEN u. HILDEBRANDT 1958; CALLAWAY u. YEAGER 196o, CALLAWAY 1961; KOEPCHEN u. Mitarb. 1961; POOLE 1961; HILDEBRANDT u. ENGEL 1963; ENGEL u. HILDEBRANDT 1964; FRUHSTORFER u. BERGSTRÖM 1969 u.a.). Dabei dürfte nach übereinstimmender Meinung

der Literatur die Formatio retikularis eine besondere Rolle spielen, deren auf- und absteigende Neuronenketten nicht nur die medullären Kreislauf- und Atmungszentren untereinander und mit den afferenten Kernen der Hirnnerven zu funktionellen Leistungsgemeinschaften verbinden können, sondern insbesondere auch Einflüsse auf das motorische System vermitteln (RHINES u. MAGOUN 1946; v. EULER u. SÖDERBERG 1958; v. BAUMGARTEN 1962).

Eine nähere Analyse der Koppelung des Lidschlags an den Atemrhythmus scheint uns beim jetzigen Stand der Erfahrungen noch nicht möglich, und zwar einerseits, weil unsere eigenen Befunde über die Lidschlagverteilung innerhalb der Atemperiode nicht einheitlich genug sind und zudem auch nicht voll mit den Erfahrungen von POOLE (1961) übereinstimmen. Insgesamt ließe sich am ehesten eine inspiratorische Hemmung und exspiratorische Förderung des Lidschlags vermuten, jedoch finden sich selbst in der Exspirationsphase häufiger zwei verschiedene Koinzidenzgipfel, die auf einen komplexeren Mechanismus als nur einen Fortfall hemmender Wirkungen der Inspiration hinweisen. Im übrigen sind auch die Befunde über die Wirkungen des Atemrhythmus auf andere Funktionen wenig einheitlich. So konnten z.B. die übereinstimmenden Befunde von ROITBAK u. Mitarb. (1962) sowie HILDEBRANDT u. ENGEL (1963) über die inspiratorische Verkürzung der Reaktionszeit beim Menschen von CALLAWAY u. YEAGER (1960), die eine exspiratorische Förderung fanden, nicht bestätigt werden. Wahrscheinlich spielt dabei der Grad der Spontaneität der Atmung eine wesentliche Rolle. Besondere Schwierigkeiten der Deutung im Hinblick auf die Lidschlagkoppelung entstehen auch dadurch, daß nach unseren Befunden nicht einmal intraindividuell die Lage der Koinzidenzgipfel bei mehrfacher Untersuchung im Tagesgang hinreichend konstant bleibt (vgl. Abb. 13). Die deutlichen zeitlichen Verschiebungen der Lidschlaghäufungen im Atemzyklus werden natürlich einerseits von den beim Proband H.E. allerdings nur sehr geringen Ände-

rungen der Atemperiodendauer verursacht, darüberhinaus scheinen aber auch die vegetativen Umstellungen im Tagesrhythmus einen eigenen Einfluß auf die zeitlichen Abläufe beim Koppelungsmechanismus zu haben.
Da sich im Bereich der Formatio retikularis sowohl inspiratorische wie exspiratorische Impulssalven ableiten lassen (v.BAUMGARTEN u. Mitarb. 1960; HELLNER u. v.BAUMGARTEN 1961; KOEPCHEN 1961), dürfte es noch sehr umfangreicher weiterer Untersuchungen bedürfen, um hinreichend abzuklären, ob und inwieweit beide Atemphasen in fördernd-dem oder hemmendem Sinne auf die Auslösung des Lidschlags Einfluß nehmen können.

c. Koppelung des Lidschlags mit dem Herzrhythmus.

Nachdem LANDOIS (1909) Lidschläge im Sinne von pulsatorischen Muskelkontraktionen auf mechanisch-erregende Wirkungen der peripheren Pulswelle zurückgeführt hatte, untersuchten erstmals PATRIZI u. BELLENTANI (1904) die Phasenbeziehungen des Lidschlags zur peripheren Pulskurve mit verschiedenen Methoden. Sie fanden, daß die Lidschläge in 82,6 % in die Diastole und in nur 17 % in die Systole fielen und lehnten daher die Vorstellung von LANDOIS (1909) ab. Neue Ergebnisse mit modernen Methoden der elektrokardiographischen Kontrolle der Herzaktionsphasen erbrachten die orientierenden Voruntersuchungen von STORCH (1964/65) an 5 gesunden Probanden, wobei an einer von diesen ein signifikanter Koppelungsgrad gefunden wurde; bei einer weiteren Versuchsperson wurde die Koppelung erst bei Anblasen des Gesichts statistisch sicher. Das Verteilungsmuster der Lidschläge über die Herzperiode zeigte sowohl systolische wie diastolische Häufungen.
Unsere eigenen Befunde ergaben, daß sichere Koppelungen des Lidschlags an den Herzrhythmus zumindest seltener sind als solche an den Atemrhythmus, wobei allerdings das Muster der Phasenbeziehungen einheitlicher erscheint.

Daß der Herzrhythmus, abgesehen von den früher überschätzten unmittelbar mechanischen Wirkungen von Herzkontraktion und Pulswelle, auch auf dem Wege über nervale Afferenzen beträchtliche Einflüsse auf andere Vorgänge im Zentralnervensystem ausüben kann, ist erst in jüngerer Zeit mehr beachtet worden. So lassen sich unter bestimmten Bedingungen herzsynchrone Weckreaktionen im Elektroenzephalogramm nachweisen (FRUHSTORFER u. Mitarb. 1971). BIRREN u. Mitarb. (1963) sowie ENGEL u. HILDEBRANDT (1967) wiesen herzrhythmische Schwankungen der Reaktionszeit beim Menschen nach. In besonders ausführlicher Weise ist aber die koppelnde Wirkung der cardio-vasculären Afferenzen auf die Atmung bei Tier und Mensch untersucht worden (BUCHER 1944; BUCHER u. BÄTTIG 1956; BUCHER 1963; HINDERLING 1967). Nach den Tierversuchen ist anzunehmen, daß die afferenten rhythmischen Impulse über den linken Vagus geleitet werden (BUCHER u. BÄTTIG 1956, 1960 b; BUCHER 1964). Theoretisch kommt eine größere Anzahl weiterer Afferenzen als Koppelungsimpuls in Betracht (vgl. STUTTE 1967), zumal beim Menschen mehrere Koinzidenzgipfel regelmäßig zu beobachten sind (STORCH 1967; STUTTE 1967; ENGEL u. Mitarb. 1968; ENGEL u. Mitarb. 1972). Außerdem ist sichergestellt, daß der führende Herzrhythmus nur den Inspirationsbeginn, nicht aber den Exspirationsbeginn ankoppeln kann (STORCH 1967).

Am Mechanismus dieser Koppelung dürfte die Formatio retikularis ebenfalls maßgeblich beteiligt sein. Nach den Modellvorstellungen von BUCHER (1944) und STUTTE (1967) wird die während der Exspiration wachsende Inspirationsbereitschaft durch die zusätzlichen herzsynchronen Impulse, die über die Formatio retikularis irradiieren, über die Inspirationsschwelle gehoben. Für diese Vorstellung sprechen einerseits die beim Menschen nachgewiesenen Beziehungen des Koppelungsgrades zu Herz- und Atemfrequenz (STUTTE 1967) sowie neuerdings auch der Nachweis, daß es mit stammhirnwirksamen Barbituraten möglich ist,

den Koppelungsmechanismus voll auszuschalten, ohne daß dabei die normale Frequenzkoordination zwischen Herzschlag und Atmung gestört wird (ENGEL u. Mitarb. 1972).

Während in den Häufigkeitsverteilungen der Inspirationsbeginne über die Herzperiode regelmäßig drei verschiedene Koinzidenzgipfel zu beobachten sind, deren Abstand vom Beginn der R-Zacke im EKG sich frequenzabhängig nach Maßgabe der Systolendauer verschiebt (STUTTE 1967), lassen die Verteilungen der Lidschläge über die Herzperiode ein weniger differenziertes Verteilungsmuster erkennen. Lediglich im Falle B.H. (Abb. 14) haben die drei Häufigkeitsgipfel eine gewisse Ähnlichkeit mit den Inspirationsverteilungen. Es ist daher anzunehmen, daß der Koppelungsmechanismus zwischen Lidschlag und Herzrhythmus, der zweifellos auch von dem cardio-vasculären Afferenzstrom ausgeht, komplexer und weniger direkt ist, so daß das ursprünglich in den Hirnstamm einstrahlende differenzierte Afferenzmuster mehr oder weniger verschliffen wird. Auch die Reaktionszeitschwankungen im Herzrhythmus zeigen innerhalb der Herzperiode ein weniger differenziertes Muster als die Koppelung zwischen Herzschlag und Inspirationsbeginn (ENGEL u. HILDEBRANDT 1967). Besonders wichtig scheint uns der Hinweis, daß sich in unseren Ergebnissen keine Anhalte dafür fanden, daß die Koppelung des Lidschlags mit dem Herzrhythmus lediglich eine automatische Erscheinung ist, die dadurch hervorgerufen wird, daß bei einer bestehenden Koppelung zwischen Lidschlag und Atmung gleichzeitig eine starke Koppelung zwischen Herzschlag und Atmung besteht. Dafür spricht schon die negative Korrelation zwischen den beiden Koppelungsgraden des Lidschlags mit Atmung und Herzschlag, die auch bei Einbeziehung der in Tabelle 8 zusammengestellten Koppelungsgrade zwischen Herzschlag und Atmung aus allen Einzelversuchen keinen Anhalt für solche automatischen Beziehungen liefert. Insbesondere ist aber auch das Verhalten aller drei Koppelungsgrößen im Tagesgang eine Bestätigung dafür, daß die Koppelung des Lidschlags mit dem Herzrhythmus

nicht lediglich ein Scheinergebnis darstellt.

d. Schlußfolgerungen.

Nach der zusammenfassenden Darstellung von HABERICH (1958) (vgl. dazu auch HAATI u. WUORINEN 1919; BLOUNT 1928; POLLER 1928; PONDER u. KENNEDY 1928; ROSSANO 1933) sind hinsichtlich der Auslösung mindestens drei verschiedene Formen des Lidschlags zu unterscheiden (vgl. Tabelle 9). 1. Der reflektorische Lidschlag, der stets singulär ist, dem Schutz des Auges dient, von Afferenzen, die im Nervus Trigeminus, Akustikus und Optikus geleitet werden, ausgelöst und über bulbäre bzw. mesencephale Integrationsstufen vermittelt wird (Fremdreflex). 2. Der bedingt reflektorische Lidschlag, der gleichfalls singulär ist und als optisch ausgelöster Droh-Blinzelreflex mit Schutzfunktion aufgefaßt werden kann oder im Sinne einer cortikalen Mitinnervation als optokinetischer Lidschlag der Unterstützung des Sehens beim Blickfeldwechsel dient. 3. Alle übrigen Lidschläge werden von HABERICH (1958) unter dem Begriff des spontanen Lidschlags zusammengefaßt.

Für den spontanen Lidschlag nehmen viele Autoren übereinstimmend ein subcortikales Zentrum im Bereich der Stammganglien an (PONDER u. KENNEDY 1928; BING u. BRÜCKNER 1955; HABERICH 1958). PONDER u. KENNEDY (1928) beobachteten dementsprechend bei Erkrankungen der Stammganglien, insbesondere des Pallidums, ein Fehlen des spontanen Lidschlags bei Erhaltung des reflektorischen und willkürlichen Lidschlusses. Auch HABERICH (1956; 1958) zählt den spontanen Lidschlag zur extrapyramidalen Motorik, seine Frequenz kann dabei durch vegetative und psychische Einflüsse modifiziert werden. Durch Reizung vegetativer Zentren im Hypothalamus konnte HESS (1949) Lidschläge auslösen, die synchron der Reizfolge auftraten und manchmal von vegetativen Mitreaktionen begleitet waren. KÖDDING (1940) nahm dagegen ein im Hirnstamm gele-

T a b e l l e 8.

Koppelungsgrade C zwischen Herzrhythmus und Atemrhythmus in Ruhe und bei Bewindungsreiz.

Proband	Koppelungsgrad C in Ruhe	bei Bewindung
Untersuchungszeit 1o - 12 Uhr vormittags:		
D.B.	9,2o	6,4o
En.	12,1o	3,7o
D.E.	21,3o	12,9o
Em.	8,oo	8,56
Fl.	5,36	3,76
Hi.	6,48	4,6o
Ho.	6,25	35,oo
Il.	7,52	11,36
Ka.	6,16	11,44
Wo.	3,68	5,12
Untersuchungszeit 17 - 19 Uhr nachmittags:		
Ba.	1o,88	9,84
Be.	6,48	5,o4
v.E.	5,oo	4,88
Fi.	9,36	13,o4
He.	8,oo	5,4o
Hö.	5,28	3,92
Kn.	25,84	1o,16
Ni.	3,76	11,84
Schl.	5,92	5,52
Schn.	8,56	22,48

Tabelle 9.

Art und Bedeutung der verschiedenen Lidschlagformen (nach HABERICH 1958, erweitert)

Art	Auslösung	Integrationsstufe	Wirkung	Bedeutung bzw. Charakter
1. reflektorischer Lidschlag	Trigeminus Akustikus Optikus	bulbär mesencephal	einzelner Lidschlag	Schutz des Auges
2. bedingt reflektorischer Lidschlag	optisch (Droh-Blinzelreflex) optokinetisch	cortical	einzelner Lidschlag	Schutz des Auges und Unterstützung des Sehens
3. spontaner Lidschlag	psychische Prozesse vegetative Prozesse und damit Extrapyramidal Motorik	diencephal subcortical	Modifikation der Lidschlagfrequenz	Mitbewegung Ausdrucksbewegung Verhaltensmerkmal
4. rhythmisch gekoppelter, bzw. koordinierter Lidschlag	pulmonaler und cardialer Afferenzzustrom	subcortical	einzelner Lidschlag	Merkmal rhythmischer Ordnung

genes Zentrum für den spontanen Lidschlag an, da er bereits bei "großhirnlosen" Neugeborenen spontane Lidbewegungen beobachten konnte.

Wenn man voraussetzt, daß alle Zentren vegetativer und extrapyramidaler Funktionen Integrationsorte darstellen, in denen eine Fülle von Afferenzen aus den verschiedensten Funktionssystemen zusammenlaufen (HABERICH 1958), so darf unabhängig von der genaueren Lokalisation des Lidschlagzentrums erwartet werden, daß dessen Verhalten auch von den rhythmischen Afferenzen mitbestimmt wird, die sonst in mannigfaltiger Weise auf zahlreiche zentralnervöse Funktionen irradiieren.
Der von uns geführte Nachweis der Phasenkoppelung des Lidschlags mit Atemrhythmus und Herzrhythmus beweist, daß diese rhythmischen Afferenzen nicht im Sinne einer Frequenzmodifikation den spontanen Lidschlag verändern, wie es offenbar vegetative und psychische Einflüsse tun, daß sie vielmehr in der zeitlichen Ordnung ihres Afferenzmusters die aktuelle "Lidschlagbereitschaft" fördern, über die Schwelle heben oder hemmen können. Das führt dazu, daß die spontane Lidschlagfolge mit atmungsgekoppelten und herzschlaggekoppelten Lidschlägen durchsetzt wird, die als angestoßene oder durch Hemmung verzögerte Lidschläge jedenfalls nicht mehr als spontane bezeichnet werden können.
Es scheint uns daher berechtigt, die Klasse der spontanen Lidschläge in der von HABERICH (1958) vorgeschlagenen Einteilung aufzutrennen und die rhythmisch gekoppelten bzw. koordinierten Lidschläge als eine besondere Art hinzuzufügen (vgl. Tabelle 9.).
Eine besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang unser Befund, daß sowohl interindividuell wie intraindividuell im Tageslängsschnitt die Koppelungsgrade des Lidschlags zu Atmung und Herzrhythmus in einer negativen Korrelation stehen. Die geschilderte Vorstellung über den Einflußmechanismus der beiden Afferenzen setzt nämlich ein Konkurrieren voraus, insofern, als naturgemäß die Lidschlag-

bereitschaft immer nur von einem bestimmten Zusatzimpuls über die Schwelle gehoben werden kann. Auf die Verwandtschaft dieser Vorgänge mit dem Koppelungsmechanismus zwischen Herzschlag und Atmung sei hier erneut hingewiesen (BUCHER 1944; HILDEBRANDT 1967; STUTTE 1967).

Unsere Befunde bieten zugleich einen weiteren Beleg für die vegetative Einflußmöglichkeit auf die Lidschlagfolge, indem sich ein signifikanter Tagesrhythmus der Lidschlagfrequenz darstellen ließ. Solche Frequenzänderungen betreffen in erster Linie die Kategorie der spontanen Lidschläge, die tagesrhythmischen Intensitätsschwankungen des Koppelungsgrades sind Teil eines umfassenderen Wechsels zwischen Leistungs- und Ordnungseinstellung der vegetativen Regulation (HILDEBRANDT 1967) und wirken nicht primär frequenzändernd (vgl. ENGEL u. Mitarb. 1968, 1969; HILDEBRANDT u. KLEIN 1969; HILDEBRANDT 1970).
Die von uns dargestellten Häufigkeitsverteilungen des Lidschlags über Atem- und Herzperiode mit signifikanten Koppelungsgraden erfüllten zwar rein formal die Kriterien einer "relativen Koordination" (v.HOLST 1939), d.h. einer statistischen Bevorzugung bestimmter Koaktionslagen. Streng genommen handelt es sich bei der Koordination im Sinne von v. HOLST (1939) aber um Wechselwirkungen zwischen zwei mehr oder weniger selbständigen rhythmisch agierenden Partnern. Es ist bisher nicht entschieden, ob das "Lidschlagzentrum" ein eigenständiges rhythmogenes Zentrum ist, das z.B. mit dem zentralen Atemrhythmus in eine entsprechende Wechselwirkung treten könnte. Unsere Befunde lassen in dieser Hinsicht keine weitergehenden Schlüsse zu, da die gefundene bandenförmige Struktur der Periodenverteilungen des Lidschlags sowohl auf eine Neigung zur Frequenz- oder Periodenmultiplikationen eines eigenständigen rhythmogenen Zentrums als auch auf die rhythmische Folge der Koppelungsimpulse von Herzschlag und Atmung zurückgeführt werden kann. Gerade die besondere Häufung von Banden der Lidschlagperiodendauern im

Bereich von 1 - 5 sec, d.h. im Bereich der einfachen und mehrfachen Herzperiodendauer bis zur Atemperiodendauer gibt der zweiten Möglichkeit ein besonderes Gewicht.

Der Anteil, den die vier verschiedenen Arten von Lidschlägen (vgl. Tabelle 9.) an der effektiven Lidschlagfrequenz haben, hängt naturgemäß stark von den Untersuchungsbedingungen ab. Bei freiem Verhalten soll der Anteil der optokinetischen Lidschläge allein etwa 80 % betragen können (HABERICH 1958). In unserer Untersuchungssituation, die größere Blickbewegungen vermied, dürfte dieser Anteil hinter dem der "spontanen" Lidschläge stark zurückgetreten sein. Durch den Bewindungsreiz wurde dagegen die Häufigkeit reflektorischer Lidschläge stark erhöht. Unser Befund, daß der Koppelungsgrad zwischen Lidschlag und Atmung unter dieser zusätzlichen Reizbelastung signifikant zurückgeht, macht wahrscheinlich, daß nur die spontanen Lidschläge für eine Ankoppelung durch atemrhythmische Afferenzen offenstehen, während die eigentlichen Lidschlußreflexe eher einem Alles-Oder-Nichts-Gesetz folgen dürften. Ob hier hinsichtlich der Wirkung herzsynchroner Afferenzen Unterschiede bestehen, muß noch weiter untersucht werden. Auch die nächtliche Steigerung der Koppelungen kann in dem Sinne gedeutet werden, daß beim Wegfall anderer Afferenzen mehr spontane d.h. koppelungsfähige Lidschläge verfügbar werden und zugleich das Dominieren der Atemeinflüsse deutlicher wird.
In jedem Falle zeigen diese Überlegungen, daß die erreichbaren Koppelungsgrade des Lidschlags mit Atmung und Herzrhythmus nicht allzu hoch werden können. Hinzu kommt, daß die koppelnden Afferenzen von Herzschlag und Atmung immer zugleich einwirken können und miteinander in Konkurrenz stehen, ohne daß es bisher möglich ist, das offensichtliche Dominieren des Atemrhythmus quantitativ näher abzugrenzen. In jeder Häufigkeitsverteilung der Lidschläge über Atem- oder Herzperiode ist also immer zugleich der andere Koppelungseffekt mit enthalten und

muß daher grundsätzlich zu einer Beeinflussung des errechneten Koppelungsgrades führen. Es ist allerdings nicht damit gesagt, daß dieser Störeffekt sich stets im Sinne einer Abschwächung des Koppelungsgrades auswirkt. Besteht nämlich zugleich eine Phasenkoppelung zwischen Herzschlag und Atmung, die sich bei Gesunden in etwa 6o % - 8o % der Fälle in signifikantem Ausmaß nachweisen läßt (HINDERLING 1967; STORCH 1967; STUTTE 1967; ENGEL u. Mitarb. 1968, 1969, 1972), so kann es auch zu einer Steigerung des Koppelungsgrades kommen. Wir haben aber bereits auf Grund unserer Befunde darauf hingewiesen, daß solche Überdeckungseffekte nicht für die Koppelungsbefunde zwischen Lidschlag und Herzrhythmus verantwortlich gemacht werden können.

Die Koppelung spontaner Lidschläge durch Atemrhythmus und Herzrhythmus weist darauf hin, daß der Lidschlag in wechselndem Grade in das Gesamtsystem rhythmischer Koordinationen im Organismus einbezogen wird, auch wenn eine spontanrhythmische Eigenständigkeit der Lidschlagfolge bisher noch nicht eindeutig bewiesen werden kann.

Zusammenfassung.

Bei 2o gesunden Versuchspersonen wurden während ruhiger Betrachtung eines Bildes im Sitzen je 1oo spontane Lidschläge mittels einer photoelektrischen Methode gemeinsam mit Atemrhythmus (Thermofühler im Naseneingang) und Herzrhythmus (EKG) registriert. Alle Untersuchungen wurden danach bei Anblasen des Gesichts mit einem Ventilator wiederholt. Bei vier Versuchspersonen wurde außerdem in 3- bzw. 4-stündigen Abständen das tagesrhythmische Verhalten der Meßgrößen bei gleicher Anordnung über 24 Stunden hin kontrolliert. Neben der Frequenz- bzw. Periodendauer der drei rhythmischen Funktionen wurde deren Phasenkoppelung durch Ausmessung der Zeitabstände zwischen Lidschlagbeginn, Inspirationsbeginn und Beginn der R-Zacke im EKG bestimmt.

Die mittlere Lidschlagfrequenz betrug 11,8/min ($\sigma = \pm$ 7,47), der Gruppendurchschnitt der mittleren Lidschlagperiodendauer 6,7 sec mit einer durchschnittlichen Periodenvariabilität von 78,9 %. Die Häufigkeitsverteilung der Lidschlagperiodendauern wies mit Gipfeln bei 1, 2, 3 und 4 sec Anzeichen einer Frequenzkoordination auf. Anblasen des Gesichts steigerte die Lidschlagfrequenz signifikant auf 17,7/min, wobei die Häufigkeitsverteilung der Periodendauern bei nahezu gleichbleibender Variabilität eingipfelig wurde. Interindividuell nahm die Variabilität der Lidschlagfolge mit Verminderung der Lidschlagfrequenz signifikant zu.

Eine statistisch gesicherte Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Atemrhythmus war in Ruhe bei 6 Probanden (3o %) nachweisbar. Der mittlere Koppelungsgrad der Gruppe nahm bei Bewindung des Gesichts signifikant ab. Die gesicherten Koinzidenzgipfel der Lidschlagbeginne lagen bevorzugt in der Exspirationsphase.

Eine signifikante Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Herzrhythmus wurde nur in 2 Fällen festgestellt (1o %),

der mittlere Koppelungsgrad wurde durch Bewindungsreiz nicht verändert. Die gesicherten Koinzidenzgipfel des Lidschlagbeginns lagen einheitlich im Übergangsbereich zwischen Diastole und Systole.

Im Tagesgang nimmt die Lidschlagfrequenz von einem Minimum gegen 7 Uhr bis in die Nacht hinein um etwa 5o % kontinuierlich zu. Der Koppelungsgrad zwischen Lidschlag und Atmung unterliegt einem Tagesrhythmus in der Ordnung des Biologischen Tages mit einem Maximum gegen 3 Uhr und einem Minimum gegen 15 Uhr und verhält sich dabei gleichsinnig zu dem bereits bekannten Tagesrhythmus der Phasenkoppelung zwischen Herzschlag und Atmung. Der Grad der Phasenkoppelung zwischen Lidschlag und Herzrhythmus zeigte dagegen um 3 Uhr ein signifikantes Minimum. Auch interindividuell war in der Gesamtgruppe ein gegensinniges Verhältnis der Lidschlagkoppelung zu Atmung und Herzrhythmus im Sinne einer Konkurrenz beider Koppelungsmechanismen nachweisbar.

Aus den Befunden wird geschlossen, daß es erforderlich ist, von den reflektorischen, optokinetischen und sog. spontanen Lidschlägen rhythmisch gekoppelte (koordinierte) Lidschläge zu unterscheiden, die anzeigen, daß der Lidschlag in tagesrhythmisch wechselnder Strenge auch in das Gesamtsystem rhythmischer Koordinationen des Organismus einbezogen wird. Während die Konkurrenz der Koppelung mit Atmung und Herzschlag Schlüsse auf den Koppelungsmechanismus erlaubt, bleibt die Frage nach einer eigenständigen Spontan-Rhythmik des Lidschlages noch unentschieden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s .

ADOLPH, R.J., u. C. FROMMER: A transducer for recording the instantaneous respiratory waveforms in animals and man.
J. appl. Physiol. 21, 737-74o (1966)

ASCHOFF, J.: Zeitliche Strukturen biologischer Vorgänge.
Nova Acta Leopoldina.
N.F. Bd. 21, 143, 147-177 (1959)

BARTSCH, W.: Beobachtungen bei langfristiger Fernregistrierung der Lidschläge des Rindes.
Veterinärmed. Inaug. - Diss., Berlin 1964

BAUMGARTEN, R. von, K. BAITHASAR u. H.-P. KOEPCHEN: Über ein Substrat atmungsrhythmischer Erregungsbildung im Rautenhirn der Katze.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 27o, 5o4-528 (196o)

BAUMGARTEN, R. von: Rautenhirn. In: LANDOIS-ROSEMANN: Physiologie des Menschen, 28. Auflage.
Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin 1962, 695-715.

BECHTEREW, W. von: Über Reflexe im Antlitz und Kopfgebiet.
Neurol. Zbl. 2o, 93o-933 (19o1)

BENDER, L.F., F.M. MAYNARD u. S.V. HASTINGS: The blink-reflex as a diagnostic procedure.
Arch. Phys. Med. 5o, 27-31 (1969)

BING, R. u. R. BRÜCKNER: Gehirn und Auge.
Benno Schwabe, Basel 1955.

BIRREN, j.B., P.V. CARBON jr. u. S.L. PHILLIPS: Reaction time as a function of the cardiac cycle in young adults.
Science 14o, 195-196 (1963)

BLOUNT, W.P. : Studies of the movements of the eyelids.
Quart. J. exp. Physiol. 18, 111-125 (1928)

BRAVAIS, A. : Mémoires prés. par div. sav. à l'Acad. Roy. d. Sc. de l'Inst. d. France, Sc. math. et phys.
T. IX, Paris, p. 255 (1846)
Zit. nach WIRTH (1927)

BUCHER, K. : Über den Entstehungsmechanismus der puls-synchronen Atmung.
Helv. physiol. pharmacol. Acta 2, 591-6o5 (1944)

BUCHER, K. : Das Herz als Schrittmacher für die Atmung.
Z. f. naturwissenschaftl.-med. Grundlagenforsch. 1, 318-331 (1963)

BUCHER, K. : Ungleiche Wertigkeit der beiden Vagi für die Atmung des Kaninchens.
Helv. physiol. pharmacol. Acta 22, C 1o6 - C 1o8 (1964)

BUCHER, K., u. P. BÄTTIG: Zum Mechanismus der pulssynchronen Atmung.
Helv. physiol. pharmacol. Acta 14, 319 - 324 (1956)

BUCHER, K., u. P. BÄTTIG: Zum Mechanismus der pulssynchronen Atmung.
Helv. physiol. pharmacol. Acta 18, 25-34 (196oa)

BUCHER, K., u. P. BÄTTIG: Zur Bedeutung der Vagi für pulssynchrone Atmung.
Helv. physiol. pharmacol. Acta 18, 219-224 (196ob)

CALLAWAY III, E.: Day-to-day variability in relationship between electroencephalographic alpha phase and reaction time to visual stimuli.
Ann. N.Y. Acad. Sc. 92, 1183-1196 (1961)

CALLAWAY III, E., u. C.L. YEAGER: Relationship between reaction time and EEG alpha phase.
Science 132, 1765-1766 (196o)

DOCUMENTA GEIGY: Wissenschaftliche Tabellen.
Basel 1955 und 196o

DODGE, R. : The refractory phase of the protective wink reflex.
Am. J. Psychol. 24, 1-7 (1913)

ENGEL, P., u. G. HILDEBRANDT: Weitere Untersuchungen zum Mechanismus der respiratorischen Reaktionszeitschwankung.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 279, R 24-25 (1964)

ENGEL, P., u. G. HILDEBRANDT: Über die Schwankungen der Reaktionszeit im Herzrhythmus.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 294, 223-228 (1967)

ENGEL, P., G. HILDEBRANDT u. H.-G. SCHOLZ: Die Messung der Phasenkopplung zwischen Herzschlag und Atmung mit einem neuen Koinzidenzmeßgerät.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 298, 258-27o (1968)

ENGEL, P., G. HILDEBRANDT u. E.-D. VOIGT: Der Tagesgang der Phasenkopplung zwischen Herzschlag und Atmung in Ruhe und seine Beeinflussung durch dosierte Arbeitsbelastung.
Int. Z. angew. Physiol. 27, 339-355 (1969)

ENGEL, P., A. JAEGER u. G. HILDEBRANDT: Über die Beeinflussung der Frequenz- und Phasenkoordination zwischen Herzschlag und Atmung durch verschiedene Narkotika.
Arzneim.-Forsch. (Drug Res.) 22, 1460-1468 (1972)

EULER, C. von, u. U. SÖDERBERG: Co-ordinated changes in temperature thresholds for thermoregulatory reflexes.
Acta physiol. scand. 42, 112-129 (1958)

EXNER, S. : Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse.
Pflügers Arch. 8, 526-537 (1874)

FICK, A.E., u. A. GÜRBER: Über Erholung der Netzhaut.
Graefes Arch. 36, 257 (1890)

FRANK, C. : Über die zeitlichen Verhältnisse des reflektorischen und willkürlichen Lidschlusses.
Diss. Königsberg 1889

FRUHSTORFER, H., u. R.M. BERGSTRÖM: Human vigilance and auditory evoked responses.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 27, 346-355 (1969)

FRUHSTORFER, H., J. PAPTANEN u. J. LUMIO: Vertex sharp waves and heart action during the onset of sleep.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 31, 614-617 (1971)

GALANT, S. : Reflexus cochleo-palpebralis und Ohr-Lidschlagreflex.
Arch. f. d. ges. Physiol. 176, 221 (1919)

GARTEN, S. : Zur Kenntnis des zeitlichen Ablaufs der Lidschläge.
Pflügers Arch. 71, 477-491 (1898)

GILSE, P.H.G. van: Beobachtungen über den Tränensack-Mechanismus und den Lidschlag.
Klin. Mbl. f. Augenh. 69, 3-9 (1922)

GOLENHOFEN, K.: Untersuchungen zur Minuten-Rhythmik der glatten Muskulatur an der isolierten Taenia coli des Meerschweinchens. Pflügers Arch. ges. Physiol. 292, 34-45 (1966)

GOLENHOFEN, K., u. G. HILDEBRANDT: Die Beziehungen des Blutdruckrhythmus zu Atmung und peripherer Durchblutung. Pflügers Arch. ges. Physiol. 267, 27-45 (1958)

GORDON, G. : Observations upon the movements of the eyelids. Brit. J. Ophth. 35, 339-351 (1951)

HAATI, H., u. T.A. WUORINEN: Die zwei verschiedenen Arten des Lidschlages. Skand. Arch. Physiol. 38, 62-89 (1919)

HABERICH, F.J.: Die Physiologie der Augenlider. Habil.-Schrift, Berlin 1958

HABERICH, F.J., u. G. WITTKE: Beobachtungen über den Lidschlag des Rindes. Z. vergl. Physiol. 39, 209-225 (1956)

HABERICH, F.J., u. M.H. FISCHER: Die Bedeutung des Lidschlags für das Sehen beim Umherblicken. Pflügers Arch. ges. Physiol. 267, 626-635 (1958)

HALL, A. : The origin and purposes of blinking. Brit. J. Ophth. 29, 445-467 (1945)

HELLNER, K., u. R. von BAUMGARTEN: Über ein Endigungsgebiet afferenter, kardiovasculärer Fasern des Nervus vagus im Rautenhirn der Katze. Pflügers Arch. ges. Physiol. 273, 223-234 (1961)

HENRYSSON, St., O.W. HASELOFF u. H.J. HOFFMANN: Kleines Lehrbuch der Statistik. Walter de Gruyter & Co., Berlin 1960

HESS, W.R.: Das Zwischenhirn. Benno Schwabe, Basel 1949

HILLE, H.: Über die Einwirkungen von Hautreizen auf die Herzfrequenz. Arch. phys. Ther. 15, 438 (1963)

HILLE, H., K. KÜHLER u. J. SALLAN: Über die Auswirkung kleinflächiger Temperaturreize auf die Herzfrequenz des Menschen. Pflügers Arch. ges. Physiol. 294, 84 (1967)

HILDEBRANDT, G.: Die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung.
Habil.-Schrift, Marburg/Lahn 1958
in: Z. angew. Bäder- und Klimaheilkunde. 7, 533-615 (1960)

HILDEBRANDT, G.: Rhythmus und Regulation.
Med. Welt 1961, 73-81

HILDEBRANDT, G.: Biologische Rhythmen und ihre Bedeutung für die Bäder- und Klimaheilkunde.
In: W. AMELUNG u. A. EVERS: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde.
Schattauer, Stuttgart 1962, S. 730-785

HILDEBRANDT, G.: Die Koordination rhythmischer Funktionen beim Menschen.
Verh. Dtch. Ges. Inn. Med., 73. Kongr. 922-941 (1967)

HILDEBRANDT, G.: Physiologische Gesichtspunkte zur Rehabilitaion.
Z. Phys. Med. 1, 373-394 (1970)

HILDEBRANDT, G., u. F.-J. DAUMANN: Die Koordination von Puls- und Atemrhythmus bei Arbeit.
Int. Z. angew. Physiol. 21, 27-48 (1965)

HILDEBRANDT, G., u. P. ENGEL: Der Einfluß des Atemrhythmus auf die Reaktionszeit.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 278, 113-129 (1963)

HILDEBRANDT, G., u. H.-R. KLEIN: Untersuchungen über den Tagesgang der Koordination von Herzrhythmus und artieller Grundschwingung.
Arch. Kreislaufforsch. 59, 235-259 (1969)

HINDERLING, P.: Weitere Charakterisierung von Synchronismen zwischen Kreislauf und Atmung.
Helv. physiol. pharmacol. Acta 25, 24-31 (1967)

HOLST, E. von: Die relative Koordination als Phänomen und als Methode zentralnervöser Funktionsanalyse.
Ergebn. Physiol. 42, 228-306 (1939)

KENNARD, D.W., u. G.L. SMITH: Reflex regulation of the upper eyelids with observations on the onset of sleep.
Journal of physiology, 166, 168-177 (1963)

KÖDDING, I.: Der Lidschlag im Kindesalter.
Mschr. f. Kinderh. 84, 212-223 (1940)

KOEPCHEN, H.-P.: Unveröffentlichte Ergebnisse. Zit. nach KOEPCHEN u. Mitarb. (1961)

KOEPCHEN, H.-P., u. K. THURAU: Zur Entstehung der respiratorischen Arrhythmie.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 266, 22-23 (1957/58)

KOEPCHEN, H.-P., u. K. THURAU: Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Blutdruckwellen und Ateminnervation.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 267, 1o-26 (1958)

KOEPCHEN, H.-P., P.-H. WAGNER u. H.D. LUX: Über die Zusammenhänge zwischen zentraler Erregbarkeit, reflektorischem Tonus und Atemrhythmus bei der nervösen Steuerung der Herzfrequenz.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 273, 443-465 (1961)

LANDOIS, L., u. R. ROSEMANN: Lehrbuch der Physiologie des Menschen.
Urban & Schwarzenberg, Berlin-Wien 19o9

LANDOIS, L., u. H.U. ROSEMANN: Lehrbuch der Physiologie des Menschen.
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1962

LAPERSONNE, F. de, u. A. CANTONNET: Manuel de neurologie oculaire.
Masson, Paris 1923

LAWSON, R.W.: Blinking: Its role in physical measurements.
Nature 161, 154-157 (1948)

MACKENSEN, G.: Elektrische Registrierung von Augenbewegungen.
Fa. Schwarzer, München
Hausnachrichten Sonderheft/September 1957

MACKENSEN, G., u. S. HARDER: Untersuchungen zur elektrischen Aufzeichnung von Augenbewegungen.
Graefes Arch. 155, 387-412 (1954)

MAYHEW, D.P.: On the time of reflex winking.
J. exp. med. N.Y. 2, 35-47 (1897)

MORAX, V.: Troubles de la motilité des paupières.
Encycl. franc. d'ophthalmol. 4, 264-275 (19o5)

NEWHALL, S.M.: The control of eyelid movements in visual experiments.
Am. J. Psychol. 44, 555-57o (1932)

PATRIZI, M.L., u. G. BELLENTANI: Le reflex du clignement et les phases de la pulsation.
Arch. Ital. de Biolog. (Pisa) 41, 246-256 (1904)

PEARSON, K.: On the X^2-test of goodness of fit.
Biometrica 14 (1922/23)
Zit. n. HENNEBSON u. Mitarb. (1960)

PEIPER, A.: Das Zusammenspiel des Saugzentrums mit dem Atemzentrum beim menschlichen Säugling.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 240, 321-324 (1938)

PENAZ, J.: Oscillations non respiratoires de la fréquence cardiaque chez l'Homme.
Arch. internat. de Physiol. et de Biochim. 65, 306-314 (1957a)

PENAZ, J.: Oscillations de la fréquence cardiaque et du tonus vasomoteur au cours de respiration ralentie et accélérée.
J. de Physiol. 49, 346-349 (1957b)

PENAZ, J.: Relation chronologiques dans les oscillations circulatoires du 3e ordre chez l'Homme.
J. de Physiol. 50, 443-446 (1958)

PETERSON, J., u. L.W. ALLISON: Controls of eye-wink mechanism.
J. exp. psychol. 14, 144-154 (1931)

POLLER, M.: Beiträge zur Kenntnis des Lidschlags.
Arch. f. Hyg. 100, 245-270 (1928)

PONDER, E., u. W.P. KENNEDY: On the act of blinking.
Quart. J. exp. physiol. 18, 89-110 (1928)

POOLE, E.W.: Nervous activity in relation to the respiratory cycle.
Nature (Lond.) 189, 579 (1961)

REINES, R., u. H.W. MAGOUN: J. Neurophysiol. 9, 219 (1946);
Zit. n. R. v. BAUMGARTEN (1962)

ROITBAK, A.I., Ts. DEDAGRISHVILI u. E.K. GOTSIRIDZE: In: Contemporary problems in morphology, physiology and pathology. Publishing House of the Academy of Science of Georgian S.S.R., Tbilisi 1962, pp. 89-98

ROSSANO, R. : Contribution à l'étude du clignement normale et pathologique. Diss. Paris 1933

SILEX , P.: Vorübergehende Amaurose in Folge von Blepharospasmus nebst einigen Bemerkungen über das Sehen von Neugeborenen. Klin. Monatsblätter für Augenheilk. 26, 113 (1888)

STORCH, J.: unveröffentlicht (1964/65)

STORCH, J.: Methodische Grundlagen zur Bestimmung der Puls-Atem-Koppelung beim Menschen und ihr Verhalten im Nachtschlaf. Med. Inaug.-Diss. Marburg/Lahn 1967

STUTTE, K.H.: Untersuchungen über die Phasenkopplung zwischen Herzschlag und Atmung beim Menschen. Med. Inaug.-Diss. Marburg/Lahn 1967

TELFORD, C.W., u. B. O'DONNELL-ANDERSON: The normal wink reflex. Its facilitation and inhibition. J. exp. Psychol. 15, 235-266 (1932)

TRENDELENBURG, W.: Der Gesichtssinn. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1961

VALK, J.M. van der: A simple method for the recording of human respiration. Acta physiol. pharmacol. neerl. 1, 323-326 (1950)

WEISS, O. : Die zeitliche Dauer des Lidschlags. Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 45, 307-312 (1911)

WEITZ, W., u. W. VOLLERS: Über rhythmische Kontraktionen der glatten Muskulatur an verschiedenen Organen. Zschr. f. d. ges. Exper. Med., 52, (1926)

WIRTH, W.: Spezielle psychophysische Maßmethoden. in: E. ABDERHALDEN Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Band VI/A Urban & Schwarzenberg, Berlin-Wien 1927

ZWAARDEMAKER, H., u. L.J. LANS: Über ein Stadium relativer Unerregbarkeit als Ursache des intermittierenden Charakters des Lidschlagreflexes. Zbl. f. Physiol. 13,325-329 (1899)

Herrn Prof. Dr. med. G. Hildebrandt danke ich für die Überlassung des Themas, für sein ständiges Interesse am Fortgang der Arbeit, für seine vielen Anregungen und für seine fruchtbare Kritik sowie für seine hilfreiche Unterstützung bei der Gestaltung und Abfassung der Arbeit. Auch seiner unerschöpflichen Geduld bis zur endgültigen Fertigstellung der Arbeit gilt mein besonderer Dank.

Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr. med. F.J. Haberich dafür danken, daß er mir für sehr lange Zeit seine Habilitationsarbeit zur Verfügung gestellt hat und so freundlich war, das Correferat zu übernehmen.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. med. J. Storch für die Genehmigung, mit der von ihm entwickelten Methodik, auch meine Untersuchungen des Lidschlags durchzuführen.

Herr Dr. med. P. Engel und Herr W. Engelmohr haben mich dankenswerterweise bei der Durchführung der Untersuchungen sowie bei der Anfertigung der Abbildungen unterstützt.

L e b e n s l a u f .

Am 15. März 1942 wurde ich in Schirmke/Oberschlesien geboren als Tochter des 1945 verstorbenen Mühlenbesitzers Paul Bernard und seiner Ehefrau Anna, geb. Bernhardt.

Von Herbst 1948 bis Ostern 1954 besuchte ich die Volksschule in Berlin-Wilmersdorf, anschließend die Private Liebfrauenschule in Berlin-Charlottenburg. Ab Oktober 1956 besuchte ich die Elisabethschule in Marburg/Lahn, wo ich am 1o.3.1961 das Zeugnis der Reife erhielt.

Im Sommersemester 1961 immatrikulierte ich mich an der Philipps-Universität Marburg. Am 9.8.1962 bestand ich dort die naturwissenschaftliche Vorprüfung und am 3.8.1964 die ärztliche Vorprüfung. Im Wintersemester 1964/65 immatrikulierte ich mich an der Georg-August-Universität in Göttingen, wo ich das medizinische Staatsexamen am 7.12.1967 ablegte.

Anschließend war ich von 1968 bis einschließlich 1969 im Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung der Universität Marburg in der Außenstelle Lichtenau tätig, wo ich meine Dissertationsarbeit anfertigte.

Meine klinische Pflichtzeit als Medizinalassistent leistete ich in den Kreiskrankenhäusern Witzenhausen (1969) und Wolfhagen (197o) sowie in der Orthopädischen Klinik in Hessisch-Lichtenau (197o) ab.

Am 2.6.1971 wurde mir die Approbation als Arzt erteilt.

Meine akademischen Lehrer waren in Marburg die Herren Professoren und Dozenten:

Amon, Brück, Bücher, Dimroth, Drawert, Hensel, Hohorst, Karlson, Klingenberg, Mahr, Mattes, Niessing, Peters, Petry, Roger, Rohen, Seidel, Vogt, Walcher, Wendt.

Meine akademischen Lehrer waren in Göttingen die Herren Professoren und Dozenten:

Bauer, Berg, Beuren, Bode, Brandis, Bushe, Creutzfeldt, Ebert, Forster, Fritze, Glees, Haller, Hallermann, Hellner, Henne, Hort, Joppich, Kirchhoff, Kleinsorg, Kochsiek, Koncz, Lendle, Linzbach, Lühr, Meyer, Miehlke, Poliwoda, Poppe, Rath, Ritzenfeld, Schätzle, Scheler, Schlange, Schmidt-Matthiesen, Schneeweis, Sinapius, Sonnabend, Thofern, Truss, Weiss, Witte, Worth.